

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

SUIVI HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE D'UN COURS D'EAU ÉTOUFFÉ PAR UN
AMÉNAGEMENT D'URGENCE : CAS DU COURS D'EAU BONHOMME-MORENCY
AU BAS-ST-LAURENT, QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE

PAR

VÉRONIC PARENT

NOVEMBRE 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'aide et le soutien de certaines personnes ayant grandement participé à la réalisation de ce projet de maîtrise.

Tout d'abord, je remercie Thomas Buffin-Bélanger, mon directeur de recherche à l'Université du Québec à Rimouski, à qui je dois beaucoup pour sa confiance et sa précieuse aide. Dès le début, Thomas a cru en mon projet et m'a encouragée à le réaliser. Durant ce long processus, il toujours eu les mots pour me garder motivée et fière de mon projet. Merci beaucoup! Je remercie aussi Christian Nozais, mon co-directeur de l'Université du Québec à Rimouski pour ses conseils et son intérêt pour mon projet.

Je souhaite aussi remercier mes collègues de laboratoire pour leur collaboration, leurs conseils et leur support dans mon projet. Un grand merci à Claude-André Cloutier, Taylor Olsen, Sylvio Demers, Jean-Philippe Marchand, Maxime Boivin, Johan Bérubé, Pierre Simard, Jérôme Dubé et Ariane Lelièvre-Mathieu.

De plus, je remercie MM. Benoît Rheault et Fernand Larin de la MRC des Basques, Mme Danielle Ouellet de la Municipalité de Notre-Dame-des-Neiges, Mme Claudine Forget du Ministère de Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, M. Simon Goyette de la firme EACOM, Mme Cindy Lafrenière de la ville de Trois-Pistoles, M. Donald Labbé du Ministère des Transports du Québec, MM. Maxime Gendron et Julien Second de l'Organisme des bassins versants du Nord-Est du Bas-St-Laurent, MM. André Leblond et Mikael Rioux ainsi que M. Frédéric Liebault, mon superviseur de stage à IRSTEA en France.

J'aimerais aussi remercier EnviroNord, BORÉAS, la ville de Rimouski ainsi que le Conseil Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada pour le précieux soutien financier.

En dernier lieu, un grand merci à ma famille, à mes amis et à mon amoureux, Sebastian, pour leur grand support et leurs encouragements tout le long de ma maîtrise.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIÈRES.....	V
LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
LISTE DES ANNEXES.....	XV
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES.....	XVIII
RÉSUMÉ.....	XIX
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
APPROCHES GÉOMORPHOLOGIQUES POUR LA GESTION DES COURS D'EAU....	3
1.1 Concepts liés à la gestion hydrogéomorphologique des cours d'eau	5
1.1.1 Les ajustements morphologiques	5
1.1.2 La trajectoire morphologique.....	10
1.1.2.1 La trajectoire morphologique des cours d'eau incisés	14
1.1.3 La gestion adaptative.....	18
1.1.4 Les suivis d'aménagement.....	20
1.1.5 Les petits cours d'eau à forte pente	23
1.1.5.1 Morphodynamique	23
1.1.5.2 Aménagement des cours d'eau montagnards.....	28
1.2 Présentation de la problématique et des objectifs de l'étude	28

CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE.....	32
2.1 Analyse historique.....	32
2.2 Paramètres hydrauliques et hydrologiques	34
2.3 Stabilité de l'enrochement	36
2.4 Évolution du colmatage.....	40
2.5 Évaluation de la qualité des habitats	44

CHAPITRE III

RÉSULTATS.....	50
3.1 Historique	50
3.1.1 Le détournement du ruisseau Renouf.....	50
3.1.2 Les impacts sur le ruisseau Bonhomme-Morency et la rivière Trois-Pistoles...	54
3.1.3 Vers une stabilisation du cours d'eau Bonhomme-Morency	61
3.1.4 Réflexions sur l'historique et sur l'évolution du cours d'eau	68
3.2 Paramètres hydrauliques et hydrologiques	70
3.3 Stabilité de l'enrochement	76
3.4 Évolution du colmatage.....	79
3.5 Évaluation de la qualité des habitats	86

CHAPITRE IV

DISCUSSION.....	92
4.1 Historique et aménagement du cours d'eau Bonhomme-Morency.....	92
4.1.1 Premier constat.....	92
4.1.2 Deuxième constat	94
4.1.3 Troisième constat	95

4.1.4	Quatrième constat.....	97
4.2	Réflexion sur la trajectoire morphologique observée.....	98
4.2.1	L'historique des évènements anthropiques responsables des changements morphologiques.....	98
4.2.2	La stabilisation du cours d'eau vers une formation d'unités morphométriques	99
4.2.3	L'évolution du colmatage localisée.....	101
4.2.4	La qualité des habitats et les indicateurs biologiques.....	103
4.3	Réflexion sur le suivi réalisé et l'importance de le poursuivre.....	106
	CONCLUSION.....	108
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	112
	ANNEXES	122

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1.1	Schéma illustrant l'influence des apports en sédiments, de la capacité de transport et de la végétation riveraine sur les changements morphologiques d'un chenal (adaptée de Montgomery & Buffington 1998).....	6
Figure 1.2	Schéma illustrant les ajustements de la taille des sédiments, de la topographie du lit, de la profondeur, de largeur et de la pente à différentes échelles spatiales et temporelles et selon l'intensité de la perturbation. Les flèches dans le schéma représentent l'influence de la modification d'un élément morphologique particulier sur les autres composantes morphologiques (adapté de Buffington 2012).....	7
Figure 1.3	Concept d'équilibre schématisant une balance où le débit liquide et la pente influencent le débit solide et la taille des sédiments et vice versa (adapté de Lane 1955).....	8
Figure 1.4	La trinité de Leeder montre les interrelations entre la structure de l'écoulement, le transport des sédiments et le développement des formes du lit (adapté de Leeder 1983).....	9
Figure 1.5	Schéma illustrant cinq modèles de trajectoires morphologiques. Chaque trajectoire reflète un type d'ajustement que peut prendre la rivière et décrit le degré et la priorité d'intervention dans le cours d'eau (adapté de Brierley <i>et al.</i> 2008).....	13

- Figure 1.6 Schéma représentant deux modèles d'évolution de rivières incisées. Le modèle 1 est basé sur les petits chenaux profondément incisés et le modèle 2 est appliqué aux larges chenaux (adapté de Beechie *et al.* 2008). 17
- Figure 1.7 Schéma conceptuel du processus d'incision et d'aggradation (adapté de Pollock *et al.* (2007). Le schéma illustre l'état initial (A), l'incision (B), l'élargissement (C), la revégétalisation (C- D), l'aggradation (D- E), la reconnexion avec la plaine inondable (E) et le retour à un quasi-équilibre du cours d'eau (F). 18
- Figure 1.8 Photo d'une séquence marches-cuvettes d'un cours d'eau montagnard des Rocheuses, Colombie-Britannique (A). Schématisation d'une vue de profil et en plan d'une séquence marches-cuvettes (B) et de cascades (C) (adaptée de Montgomery & Buffington 1997). Formes fluviales selon différentes caractéristiques du système fluvial (D) et selon la pente du chenal (E) (adaptée de Buffington 2012). 26
- Figure 1.9 Photo illustrant l'incision de trois mètres d'un cours d'eau torrentiel dans les Alpes-Maritimes de la France. 27
- Figure 1.10 Photo illustrant l'enrochement de 2009 dans le cours d'eau Bonhomme-Morency..... 31
- Figure 2.1 Modèle d'élévation numérique (m) du cours d'eau Bonhomme-Morency et d'une section de la rivière Trois-Pistoles, provenant d'un relevé aéroporté à basse altitude réalisé par le Ministère des Transports du Québec en 2000. 34
- Figure 2.2 Emplacement des deux stations de jaugeage et des cinq caméras Reconyx le long du cours d'eau Bonhomme-Morency. La flèche blanche illustre le sens de l'écoulement. 36
- Figure 2.3 A) Positionnement des trois zones de suivi de déplacement des traceurs le long du cours d'eau Bonhomme-Morency. B) Secteur 1, C) Secteur 2 et D) Secteur 3..... 39
- Figure 2.4 A) Positionnement des onze sections transversales, des trois zones de colmatage élevé et des bornes d'érosion. B) Exemple de points de peinture

	appliqués au centre de chaque pierre visible le long des sections transversales.	
	C) Modèle de profil transversal de surface et de profondeur d'une section transversale. Le profil est orienté de la berge gauche (largeur = 0m) vers la berge droite (largeur > 15 mètres).	42
Figure 2.5	A) Zone 1, B) Zone 2 et C) Zone 3 où le colmatage est élevé.	43
Figure 2.6	A) Positionnement des sept stations d'échantillonnage de macroinvertébrés benthiques pour l'évaluation de la qualité des habitats. B) Filet Surber. C) Tri des macroinvertébrés benthiques échantillonnés sur le terrain au printemps 2011.	46
Figure 3.1	Bassins versants des cours d'eau Renouf (en vert) et Bonhomme-Morency (en violet) situés dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges.	51
Figure 3.2	Photos datant des années 70 et illustrant les dommages causés par les crues dans le ruisseau Renouf près de l'école de secondaire (avant le détournement). Les photos proviennent des archives de la ville de Trois-Pistoles.	52
Figure 3.3	Nouveaux bassins versants du ruisseau Renouf (en vert) et du Bonhomme-Morency (en violet) situés dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges.	54
Figure 3.4	Photos illustrant la forte incision (A), l'érosion des berges et les coulées boueuses (B), les arbres accumulés dans le lit (C, D) du cours d'eau Bonhomme-Morency à l'année 2008.	57
Figure 3.5	Photo-interprétation de la migration latérale du cours d'eau Bonhomme-Morency à partir des photos aériennes de 1976, 1985, 1990, 1995, 2001 et 2004.	58
Figure 3.6	Photos illustrant l'eau fortement chargée en sédiments du ruisseau Bonhomme-Morency coulant dans la rivière Trois-Pistoles (A) en avril 2007 et (B) en septembre 2004.	60
Figure 3.7	Photos des différentes étapes des travaux d'entrochement du cours d'eau Bonhomme-Morency : nettoyage du lit et des berges (A), couche de tout-venant (B), excavation du lit (C) et couche de protection (D).	66

- Figure 3.8 Ligne du temps résumant l'historique des cours Bonhomme-Morency et Renouf depuis 1968. Les consultations, les décisions et les pressions politiques concernant les cours d'eau sont inscrites dans les encadrés orangés, les interventions sont présentées dans les encadrés verts et les processus morphologiques provoqués par les interventions sont illustrés dans les encadrés bleus.67
- Figure 3.9 Photos du canal enroché à l'été 2010 (A) et de la confluence avec la rivière Trois-Pistoles au printemps 2011 (B).70
- Figure 3.10 Profils en long (A), différences d'altitude entre les années (B) et pentes (C) extraits des relevés mesurés par le MTQ en 2000 et en 2007 et par l'UQAR en 2012. Les données considèrent le secteur débutant dans les cent derniers mètres du canal de dérivation et se terminant à l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles.72
- Figure 3.11 Hauteurs d'eau mesurées dans la station de jaugeage aval (rouge) et amont (bleu) au cours de l'étude. Les endroits sans données correspondent aux périodes de gel ou de bris d'instruments74
- Figure 3.12 Photos prises le 21 mars 2012 lors de la crue printanière à la station de jaugeage aval (A) et amont (B).75
- Figure 3.13 Crue printanière du 11 avril au 13 avril 2011.75
- Figure 3.14 (A) Décrochement argileux au printemps 2011 et (B) coulées boueuses au printemps 2012 sur un versant longeant le cours d'eau Bonhomme-Morency. .76
- Figure 3.15 Pierres de l'enrochement contenant des traceurs dans le secteur 1 (A), le secteur 2 (B), le secteur 3A (C) et le secteur 3B (D). Les pierres illustrées par un triangle vert ont été mobilisées entre l'automne 2010 et le printemps 2011 et celles présentées par un carré jaune ont été mobilisées entre les printemps 2011 et 2012. Les lignes noires illustrent la trajectoire de déplacement des traceurs, les flèches noires indiquent un traceur mobilisé et les lignes blanches montrent le sens de l'écoulement. Les photos aériennes ne couvrent pas entièrement le

secteur 3A ce qui explique l'absence de photos dans la partie aval du secteur enroché de la figure 3.15C.....79

Figure 3.16 Profil des onze sections transversales sur trois saisons de suivi : automne 2010 (vert), printemps 2011 (bleu), printemps 2012 (orange). Les lignes pleines représentent le profil des pierres en surface et les lignes pointillées évoquent le profil des pierres en profondeur.81

Figure 3.17 Évolution du colmatage des sections transversales au cours des trois saisons de suivi. La profondeur d'enrochement (moyenne de la hauteur du profil de profondeur – moyenne de la hauteur du profil de surface) mesurée à la campagne 2010 (bleu foncé) et l'incertitude liée aux mesures sur le terrain (vert) sont aussi illustrées dans la figure. La différence d'enrochement entre 2010 et 2012 (bleu pâle) a été calculée par la différence de la profondeur d'enrochement en 2010 et de celle en 2012. Une valeur positive signifie une augmentation du colmatage.82

Figure 3.18 (A) Contrainte de cisaillement ($N \cdot m^{-2}$) et (B) puissance spécifique ($W \cdot m^{-2}$) calculées dans les onze sections transversales de l'étude, de l'amont vers l'aval. Les valeurs sont associées à quatre débits différents : $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (bleu), $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (orange), $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (vert) et $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (violet).....82

Figure 3.19 Évolution des zones de colmatage élevé de l'automne 2010 (vert), de l'automne 2011 (bleu) et du printemps 2012 (orange): A) Zone 1, B) Zone 2 et C) Zone 3. La flèche noire indique le sens de l'écoulement et les lignes grises illustrent la position des berges. Les tableaux indiquent l'augmentation de superficies colmatées pour les trois saisons.84

Figure 3.20 Recul du versant (m) mesuré par des bornes d'érosion au printemps 2011 (vert), à l'automne 2011 (orange) et au printemps 2012 (bleu). Les distances de recul étaient toutes comparées aux distances mesurées à l'automne 2010.85

Figure 3.21 Carte présentant les résultats de l'indice multimétrique (pointes de tarte) pour les sept stations ayant fait l'objet de trois campagnes d'échantillonnage de macroinvertébrés : automne 2010 (A2010), printemps 2011 (P2011) et

automne 2011 (A2011). Chaque couleur informe sur un état global de santé de la station : optimal (vert), sous-optimal (bleu), marginal (orange) et pauvre (rouge).89

Figure 3.22 Sous-indices de qualité des paramètres mesurés dans le cours d'eau Bonhomme-Morency (à l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles) de mai à octobre 2011 : coliformes fécaux (CF), chlorophylle *a* totale (CHL A), matières en suspension (MES), nitrites et nitrates (NH₃), azote et ammoniac (NOX) et phosphore total (PTOT). Les données ont été traitées par l'Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-St-Laurent.91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 2.1	Noms, professions et organismes représentés par les cinq personnes interviewées selon leur implication dans l'histoire du cours d'eau Bonhomme-Morency.....33
Tableau 2.2	Formules des indices pour calculer l'indice multimétrique.....48
Tableau 2.3	Échelle de l'état de santé du cours d'eau selon les valeurs de l'indice multimétrique.....48
Tableau 2.4	Échelle de l'état de santé du cours d'eau selon les valeurs de l'indice de qualité des habitats (IQH).....49
Tableau 3.1	Résultats des indices sur l'évaluation de la qualité des habitats mesurés via les communautés de macroinvertébrés benthiques échantillonnées dans trois stations situées dans le corridor enroché du cours d'eau Bonhomme-Morency (MI1, MI2 et MI5), une station dans un tributaire (MI3), une station en amont de l'enrochement (MI6) et deux stations dans le cours d'eau Renouf (MI4 et MI7).90
Tableau 3.2	Degré de qualité de l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP) du cours d'eau Bonhomme-Morency (à l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles) de mai à octobre 2011. Les données ont été traitées par l'Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-St-Laurent.91

LISTE DES ANNEXES

Annexe	Page
ANNEXE A	
Fiche utilisée pour l'évaluation de l'indice de qualité des habitats dans les sites d'échantillonnage de macroinvertébrés des cours d'eau Bonhomme-Morency et Renouf(adapté de Moisan & Pelletier 2008)	123
ANNEXE B	
Correspondances entre le gouvernement du Québec, la MRC des Basques, la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et la ville de Trois-Pistoles	126
Annexe B.1 Lettre rédigée par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec (Direction générale des eaux) et adressée au directeur du Service de l'équipement de la Commission scolaire régionale du Grand-Portage, 26 septembre 1973	127
Annexe B.2 Lettre rédigée par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec (Direction générale des eaux) et adressée au secrétaire-trésorier de la ville de Trois-Pistoles, 26 septembre 1973.....	130
Annexe B.3 Lettre rédigée par le Ministère de l'Environnement du Québec (Direction générale des ressources hydriques) et adressée au directeur général de la ville de Trois-Pistoles, et entente entre le Ministère de l'Environnement et la ville de Trois-Pistoles, 26 janvier 1987	133
Annexe B.4 Lettre rédigée par le Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (Direction régionale du Bas-St-Laurent) et adressée à la Société immobilière du Québec, 27 septembre 1994	136

Annexe B.5	Lettre rédigée par les propriétaires riverains longeant le cours d'eau Bonhomme-Morency et adressée au Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, 26 octobre 1998	137
Annexe B.6	Extrait de procès-verbal du conseil de la Corporation municipale de la ville de Trois-Pistoles montrant la résolution no. 8716, 9 novembre 1998	138
Annexe B.7	Lettre rédigée par la direction régionale du Ministère de l'Environnement du Québec et adressée à la direction de l'hydraulique de ce même ministère, 10 décembre 1999	139
Annexe B.8	Lettre rédigée par le Ministère de l'Environnement du Québec et adressée à la secrétaire-trésorière de la Municipalité de Notre-Dame-des-Neiges, 24 août 2000	141
Annexe B.9	Extrait du livre des délibérations d'une assemblée régulière du conseil municipal de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges présentant la résolution numéro 07.2004.92, 7 juillet 2004	143
Annexe B.10	Lettre rédigée par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec et adressée au préfet de la MRC des Basques, 28 septembre 2005	144
Annexe B.11	Lettre rédigée par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec et adressée au préfet de la MRC des Basques, 25 janvier 2008	145

ANNEXE C

	Plans d'aménagement des ouvrages de dérivation du cours d'eau Renouf et d'expropriation le long du cours d'eau Bonhomme-Morency	146
Annexe C.1	Plan des digues et du canal de dérivation du cours d'eau Renouf conçu par le MRN (1975).....	147
Annexe C.2	Schéma de localisation des ouvrages de dérivation et de franchissement ayant eu lieu dans le cours d'eau Renouf en 1977, conçu par le CEHQ (2005)	148

Annexe C.3	Plan de terres expropriées le long du cours d'eau Bonhomme-Morency (source : archives de la Ville de Trois-Pistoles).....	149
------------	--	-----

ANNEXE D

	Photo du glissement de terrain de 1983 publiée dans le journal régional <i>Le Courrier</i> après le glissement de terrain dans la rivière Trois-Pistoles (source : archives de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges)	150
--	--	-----

ANNEXE E

	Plans d'aménagement du tronçon Bonhomme-Morency par Bélanger <i>et al.</i> (2007)	152
Annexe E.1	Vue en plan des sections transversales et des douze secteurs étudiés dans le cours d'eau Bonhomme-Morency (Bélanger <i>et al.</i> 2007). Les encerclés noirs indiquent les secteurs où il n'y a pas eu d'enrochement. Le cercle au bas positionne l'enrochement fait en 2004 et celui plus haut, situe un affleurement rocheux où aucune instabilité du lit n'est produite	153
Annexe E.2	Vues en plan et en coupe des zones excavées (Bélanger <i>et al.</i> 2007)	154
Annexe E.3	Vues en coupe des sections transversales types montrant l'épaisseur des différentes couches d'enrochement (Bélanger <i>et al.</i> 2007).....	157

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CEHQ	Centre d'expertise hydrique du Québec
FBI	Indice biotique d'Hilsenhoff
IQBP	Indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau
IQH	Indice sur la qualité des habitats
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MNT	Modèle numérique de terrain
MRC	Municipalité régionale de comté
MRN	Ministère des Ressources naturelles
MTQ	Ministère des Transports du Québec
OBVNEBSL	Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-St-Laurent
UQAR	Université du Québec à Rimouski

RÉSUMÉ

Plusieurs cours d'eau du Québec sont aménagés de manière drastique pour favoriser leur utilisation et celle des terres environnantes, pour diminuer les risques fluviaux ou encore pour répondre à une crise environnementale. Il est connu que les aménagements en cours d'eau entraînent des impacts environnementaux et une réponse du système fluvial. Dans ce sens, il est étonnant de constater que peu d'initiatives sont entreprises pour faire le suivi hydromorphologique des interventions faites en eaux courantes. Ce mémoire présente les résultats d'un suivi hydromorphologique réalisé de l'automne 2010 au printemps 2012. Le cours d'eau étudié, nommé Bonhomme-Morency, est situé dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges, au Bas-St-Laurent, et est un affluent de la rivière Trois-Pistoles. Le cours d'eau Bonhomme-Morency a subi un enrochement majeur de ses berges et de son lit en 2009 pour limiter son incision, son élargissement et le transport de ses sédiments fins dans la rivière Trois-Pistoles. Le suivi a étudié les ajustements et la trajectoire morphologique en étudiant l'historique du cours d'eau, la mobilité des pierres d'enrochement, l'évolution du colmatage au lit et l'apport des versants érodés. Une évaluation de la qualité des habitats a aussi été effectuée en étudiant la diversité benthique du cours d'eau. Les résultats montrent que l'enrochement est stable dans la majeure partie du tronçon, à l'exception du secteur aval où la mobilité des pierres est observable. Le colmatage des interstices s'est principalement produit dans certaines zones où la topographie et l'apport des versants sont des facteurs importants. Les habitats touchés par l'enrochement ont obtenu des résultats de qualité biologique classés marginaux et pauvres. Finalement, ce mémoire de maîtrise met en perspective l'importance d'implanter des programmes de suivi et d'y intégrer des concepts de la géomorphologie fluviale et de l'écologie. En outre, il est pertinent de poursuivre le suivi hydrogéomorphologique du cours d'eau Bonhomme-Morency afin d'évaluer à moyen et long terme l'impact de l'aménagement sur la trajectoire morphologique. Des connaissances sur la dynamique des petits cours d'eau soumis aux processus fluvioglaciels et aux enrochements majeurs pourront ainsi être développées.

INTRODUCTION

Malgré le nombre élevé de cours d'eau aménagés au Québec, peu de programmes de suivi ont été mis en place, à l'exception de ceux harnachés par Hydro-Québec, pour évaluer les impacts des aménagements. Même si de grandes sommes d'argent sont investies dans les aménagements, un manque de soutien public et financier perdure et limite les possibilités d'implantation de programmes de suivi (Forget 2012). Selon des chercheurs aux États-Unis, la complexité des systèmes fluviaux a limité le développement de protocoles de suivi et expliquerait la proportion élevée de projets inefficaces (Kondolf & Micheli 1995, Bauer & Ralph 1999, Klein *et al.* 2007). De ce fait, les connaissances sur la complexité et la dynamique des processus des rivières aménagées demeurent insuffisantes (Klein *et al.* 2007).

Le ruisseau Bonhomme-Morency, situé dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges au Bas-St-Laurent, est un bon exemple de cours d'eau ayant fait l'objet d'aménagements drastiques sans l'implantation de programmes de suivi par les promoteurs. Le ruisseau Bonhomme-Morency est un petit cours d'eau à forte pente qui a absorbé une portion du débit du ruisseau Renouf détourné dans les années 70 pour diminuer les inondations au centre-ville de Trois-Pistoles. Depuis, le cours d'eau à forte pente s'est incisé dans les dépôts deltaïques et a contribué de manière massive à l'apport en sédiment fins à la rivière Trois-Pistoles. À l'hiver 2009, un enrochement majeur des berges et du lit a été réalisé pour stopper l'incision, diminuer l'apport sédimentaire massif à la rivière Trois-Pistoles et atteindre une stabilité du cours d'eau Bonhomme-Morency.

Dans le cadre de ce projet de maîtrise, un suivi hydrogéomorphologique a été élaboré dans le ruisseau Bonhomme-Morency pour réaliser un diagnostic de l'aménagement et concevoir un modèle d'étude transposable aux petits cours d'eau aménagés à forte pente. Ce suivi comble un manque d'information existant sur l'efficacité des aménagements

drastiques qui se pratiquent au Québec, particulièrement pour les cours d'eau soumis aux processus fluvioglaciels et aux changements globaux. Il documente l'historique des actions prises par les usagers de l'eau et les effets potentiels des aménagements sur l'intégrité écologique et géomorphologique du cours d'eau. Le suivi du cours d'eau Bonhomme-Morency a été élaboré dans le but d'étudier plusieurs composantes liées à la géomorphologie et à l'écologie fluviale.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres. Le premier chapitre présente une revue de la littérature portant sur les approches géomorphologiques pour la gestion des cours d'eau. Il décrit aussi quelques caractéristiques des petits cours d'eau à forte pente, la problématique de recherche ainsi que les objectifs de l'étude. Les chapitres suivants exposent le suivi hydrogéomorphologique du cours d'eau Bonhomme-Morency. Le chapitre II décrit la méthodologie, le chapitre III détaille les résultats du suivi et le chapitre IV se veut une réflexion concernant l'aménagement et le suivi du cours d'eau Bonhomme-Morency.

CHAPITRE I

APPROCHES GÉOMORPHOLOGIQUES POUR LA GESTION DES COURS D'EAU

Depuis le début du XX^e siècle, un grand nombre de cours d'eau dans le monde a été aménagé drastiquement pour favoriser et faciliter leur utilisation (Brierley & Fryirs 2008b). La navigation, la drave, l'irrigation, la construction de barrages et de digues, la linéarisation, le détournement, le dragage, l'enrochement et la canalisation sont des activités non négligeables qui ont mené à l'aménagement des cours d'eau (Knighton 1998). Ces interventions lourdes confrontent maintenant la société à diverses problématiques environnementales comme les inondations, l'érosion et la dégradation de la qualité de l'eau et des habitats (Shields *et al.* 2003). Auparavant, les aménagements considéraient peu de variables et ils ne tenaient pas compte de la complexité des systèmes, des perturbations et des dégradations que ces aménagements pouvaient engendrer (Kondolf & Piégay 2003). La gestion des cours d'eau était vue comme une approche réactive et « top-down » entraînant des coûts sociaux, économiques et écologiques imprévus (Hillman *et al.* 2005). La science et la gestion opéraient individuellement sans compréhension et collaboration de l'un et de l'autre (Spink *et al.* 2010).

Depuis les trois dernières décennies, la reconnaissance de la dégradation des rivières ainsi que l'appréciation grandissante accordée aux biens et services fournis par les écosystèmes fluviaux ont mené la gestion des cours d'eau vers le développement de programmes de réhabilitation (Brierley & Fryirs 2005). Par définition, la réhabilitation vise l'amélioration partielle des structures d'écoulements et/ou de la qualité de l'eau et des

habitats à l'échelle d'un tronçon de rivière, pour maximiser les bénéfices d'utilisation (Clifford 2007). Elle diffère de la restauration qui intervient plutôt sur l'hydrologie et/ou la qualité de l'eau et des habitats pour reconduire le cours d'eau vers son état initial (avant la perturbation). La restauration peut être coûteuse, elle a lieu à l'échelle du bassin versant et elle s'étend sur une longue échelle de temps. Initialement, les techniques de réhabilitation maintenaient l'approche traditionnelle d'ingénierie pour aménager les cours d'eau en intégrant néanmoins des connaissances écologiques (Downs & Gregory 2004). Les ingénieurs visaient le maintien d'objectifs conventionnels, tels que le maintien de la stabilité des berges et la réduction des événements d'inondation, tout en appliquant de nouveaux objectifs qui tenaient compte de la protection des habitats (Gilvear 1999). Malgré cette bonne volonté affichée pour la préservation ou la restauration, les approches sociales et géomorphologiques étaient maintenues à l'écart (Spink *et al.* 2010). Leurs exclusions pouvaient expliquer les faibles taux de succès des aménagements (Clifford 2007).

De nos jours, il est reconnu que les aménagements des cours d'eau entraînent des impacts environnementaux se répercutant à petite et grande échelles spatio-temporelles et qu'un grand nombre de paramètres doit être considéré pour qu'un aménagement soit efficace (Thorne *et al.* 1996). Maintenant, il y a une prise de conscience de l'importance d'intégrer les connaissances pluridisciplinaires afin de limiter les perturbations et les échecs d'aménagements (Spink *et al.* 2010). L'approche de gestion intégrée de l'eau a ainsi été mise de l'avant pour inclure les réalités biophysiques et sociales dans les processus décisionnels (Pahl-Wostl *et al.* 2007). Ce type de gestion vise à utiliser une variété de techniques de consultation et de concertation à l'échelle d'un bassin versant (Larson & Lach 2008). Elle assure une plus grande place pour la science et les intérêts de conservation des résidents (Larson & Lach 2008). Le Québec prône maintenant ce type de gestion pour son grand réseau hydrographique. La vallée du St-Laurent a été divisée en quarante zones de gestion intégrée de l'eau où des organismes de bassin versant (OBV) y siègent pour élaborer un plan directeur de l'eau (PDE) (MDDEFP 2009). Le PDE vise à dresser, pour chaque OBV, un portrait et un diagnostic du territoire couvert, et déterminer les enjeux, les orientations et les objectifs à atteindre pour mettre en place un plan d'action visant à améliorer la gestion du bassin versant (MDDEFP 2002).

Aux États-Unis et en Europe, d'autres types de gestion de cours d'eau sont en vogue. Ils utilisent plus explicitement le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau et ils tentent notamment d'intégrer les concepts d'ajustements et de trajectoires morphologiques, de favoriser la gestion adaptative des cours d'eau et d'introduire des programmes de suivis d'aménagement. Dans ce chapitre, nous décrivons ces trois concepts, puis nous présenterons une description des petits cours d'eau à forte pente, le type de cours d'eau visé par la présente étude. Ces deux sections mèneront à une présentation de la problématique de recherche et des objectifs de l'étude en lien avec le cours d'eau Bonhomme Morency.

1.1 Concepts liés à la gestion hydrogéomorphologique des cours d'eau

1.1.1 Les ajustements morphologiques

Un système fluvial s'ajuste aux changements de débits liquides et solides (Simon & Rinaldi 2006a). Ces changements proviennent de perturbations naturelles (ex : conditions hydrométéorologiques) ou anthropiques (ex : aménagements en rivière, changements dans le bassin versant), et modifient l'apport de sédiments, la capacité de transport et la végétation riveraine. Ces facteurs conditionnent l'ajustement morphologique des cours d'eau (Lane *et al.* 1996, Montgomery & Buffington 1998, Montgomery & MacDonald 2002) (Figure 1.1). Les ajustements s'effectuent au niveau de la taille des sédiments, de la topographie du lit, de la pente du chenal, de la largeur et de la profondeur de la section transversale (Montgomery & Buffington 1998).

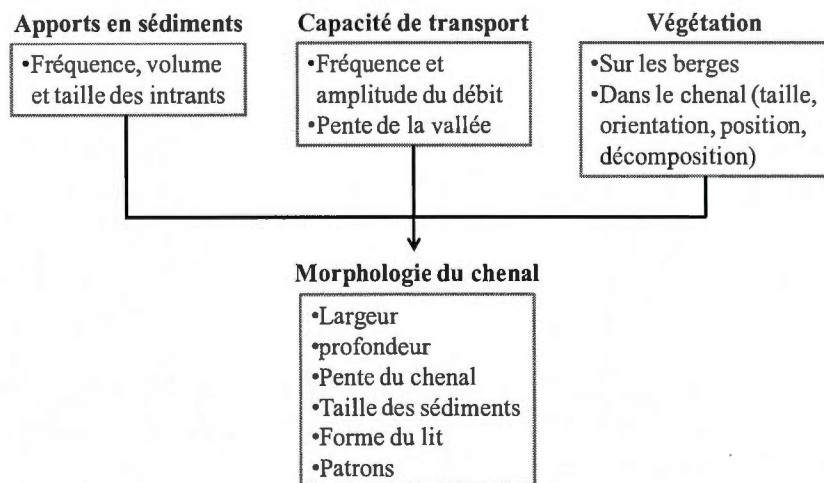


Figure 1.1 Schéma illustrant l'influence des apports en sédiments, de la capacité de transport et de la végétation riveraine sur les changements morphologiques d'un chenal (adaptée de Montgomery & Buffington 1998).

Selon la morphologie du chenal, les ajustements s'opèrent de façon successives ou chevauchantes, entraînant tout d'abord une modification locale de la taille et de l'angle de pivot des particules (Buffington & Montgomery 1999) (Figure 1.2). Ces modifications apparaissent rapidement (ex. : minutes) créant ainsi des petites zones de changements dans le cours d'eau. Par la suite, d'autres ajustements, à petite et moyenne échelles (ex. : mouille, cuvette, seuil, marche), apparaissent au niveau du type, de la taille et de la fréquence des formes de la topographie du lit (Whiting *et al.* 1988). Ces changements se manifestent un peu plus lentement et s'étendent sur une plus grande section du cours d'eau. La profondeur et la largeur s'ajustent aussi selon les modifications morphologiques précédentes (Buffington & Montgomery 1999). En dernier lieu, la pente s'adapte s'il y a aggradation ou incision du chenal. Des changements dans la sinuosité du tronçon vont finalement se produire. Les derniers ajustements sont visibles à l'échelle du tronçon et peuvent prendre un certain temps à s'enclencher (ex. : années).

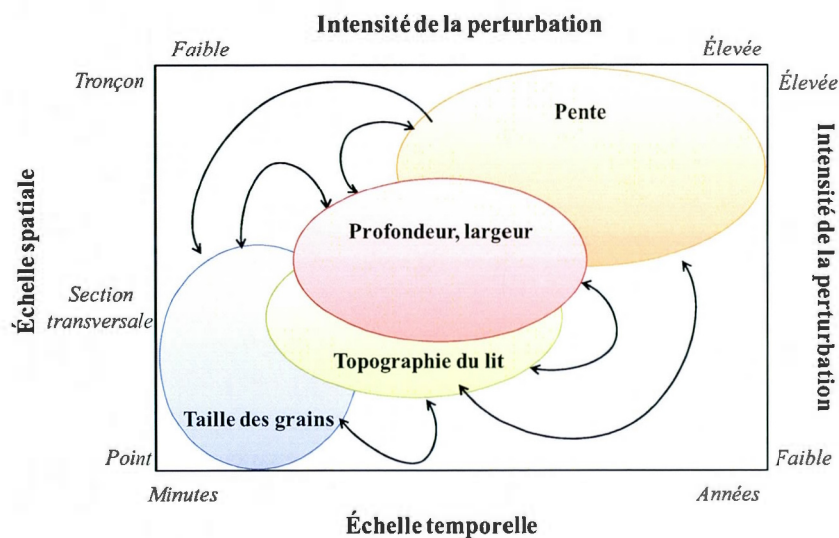


Figure 0.1 Schéma illustrant les ajustements de la taille des sédiments, de la topographie du lit, de la profondeur, de largeur et de la pente à différentes échelles spatiales et temporelles et selon l'intensité de la perturbation. Les flèches dans le schéma représentent l'influence de la modification d'un élément morphologique particulier sur les autres composantes morphologiques (adapté de Buffington 2012).

Les modifications morphologiques dépendent de l'intensité (fréquence et magnitude) de la perturbation (Brierley *et al.* 2008). Ainsi, une perturbation fréquente et de faible magnitude peut avoir autant ou même plus d'impacts qu'une perturbation non fréquente et de grande amplitude (Buffington 2012). Par exemple, les crues décennales peuvent provoquer des perturbations plus marquées à long terme pour un cours d'eau que des événements de crues centenaires. Un cours d'eau qui subit une perturbation rare et de forte magnitude finit par s'ajuster pour retrouver un équilibre, contrairement aux crues décennales se produisant plus fréquemment et demandant un ajustement morphologique constant. Les processus à petites échelles spatio-temporelles contrôlent les comportements à long terme et l'évolution du paysage (Lane & Richards 1997).

La modification d'une composante influence les autres éléments morphologiques (illustrée par les flèches de la Figure 1.2) (Buffington 2012). Par exemple, une modification de la profondeur d'une section transversale entraînera un ajustement automatique de la taille des grains, de la topographie du lit et de la pente. Ces ajustements permettent au chenal de rejoindre son état d'équilibre (Knighton 1998). Le concept d'équilibre schématisé par Lane (1955) illustre bien l'ajustement constant des variables qui façonnent un tronçon de rivière (Figure 1.3). La balance de Lane montre que les changements dans le débit liquide et le débit solide sont équilibrés par des changements au niveau de la pente et de la taille des sédiments. De ce fait, si la puissance de l'écoulement est exactement suffisante pour transporter les sédiments qui entrent dans le système, la balance demeure à l'équilibre (débit solide = débit liquide) (Knighton 1998). Or, si une perturbation survient dans le système, par exemple une augmentation intense et rapide du débit liquide (comme dans le cas du ruisseau Bonhomme-Morency), la balance s'inclinera vers la droite et entraînera une dégradation du lit. L'érosion provoquera une augmentation du débit solide. Cette composante devrait entraîner une aggradation du lit lorsque la pente diminue en aval. Il faut savoir que l'équilibre n'est jamais réellement atteint en milieu naturel (Knighton 1998).

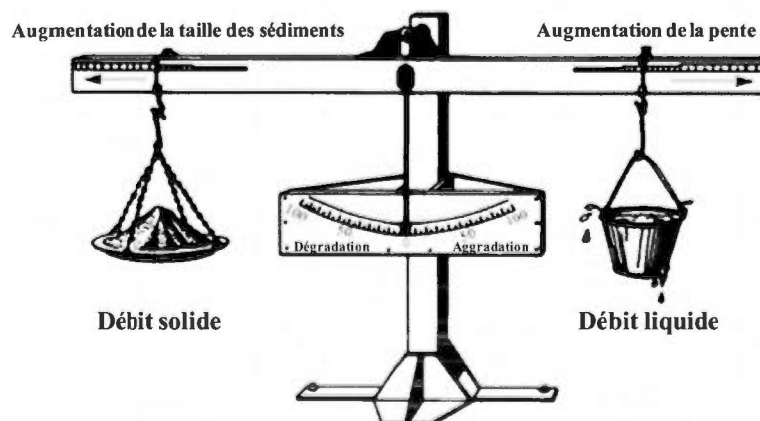


Figure 0.2 Concept d'équilibre schématisant une balance où le débit liquide et la pente influencent le débit solide et la taille des sédiments et vice versa (adapté de Lane 1955).

Les fortes interrelations entre trois grandes composantes d'un système fluvial sont schématisées par la trinité de Leeder : la structure de l'écoulement, le transport des sédiments et le développement des formes du lit dans une section transversale (Leeder 1983) (Figure 1.4). La structure de l'écoulement influence le transport des sédiments; celui-ci influence en retour l'écoulement. Par exemple, lorsque le débit augmente, la taille des particules mobilisées augmente aussi (Charlton 2008). D'un autre côté, le transport des sédiments influe aussi sur le développement des formes du lit, qui influe à son tour le transport des sédiments. En effet, les sédiments transportés vont modifier le lit en créant des zones d'érosion et d'aggradation (Lane & Richards 1997) (ex : les patrons de transport de sédiments conditionnent la formation des bancs d'accumulation dans les rivières graveleuses). Ces zones engendrent ainsi des formes au lit provoquant à leur tour le transport ou l'accumulation des sédiments. Le développement des formes du lit a un impact sur la structure de l'écoulement. En effet, la présence des bancs d'accumulation augmente la rugosité au lit et diminue la vitesse d'écoulement (Charlton 2008). Contrairement aux autres relations, l'écoulement n'a pas d'effet direct sur le développement des formes du lit. Cette relation unidirectionnelle montre que les formes du lit ne peuvent être influencées que par le transport des sédiments (incision, aggradation). Évidemment, la trinité de Leeder conceptualise de manière très simplifiée l'interrelation étroite qui existe entre ces trois composantes dans un système fluvial. Toutefois, elle montre bien la rétroaction potentielle de la morphologie du lit suite à une modification de la structure de l'écoulement par l'intermédiaire du transport des sédiments.

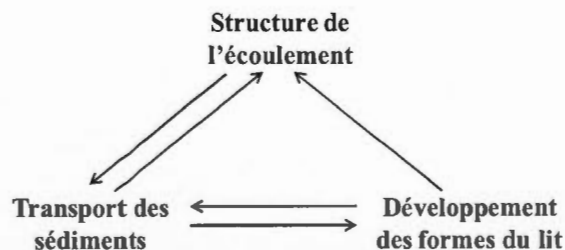


Figure 1.4 La trinité de Leeder montre les interrelations entre la structure de l'écoulement, le transport des sédiments et le développement des formes du lit (adapté de Leeder 1983).

1.1.2 La trajectoire morphologique

L'évolution des ajustements d'un cours d'eau fait appel au concept de trajectoire morphologique (Brierley *et al.* 2008). Une rivière évolue en empruntant une trajectoire basée sur l'ajustement de sa morphologie selon les perturbations passées et présentes dans le paysage. L'étude de la trajectoire morphologique d'un cours d'eau renseigne sur les relations entre les formes et les processus, dans des lieux donnés, pour prévoir à long terme l'évolution du paysage (Brierley *et al.* 2008). Il est toutefois difficile d'évaluer le comportement futur d'une rivière, puisqu'il faut tenir compte d'un grand nombre de paramètres (événements perturbateurs, temps de réponse, ajustements progressifs, simultanés, à retardement et à divers degrés) (Lane & Richards 1997, Fryirs & Brierley 2009). En outre, les modèles sont difficilement transposables à d'autres systèmes puisque la nature et les niveaux d'ajustement varient d'un cours d'eau à l'autre (Brierley *et al.* 2008). Chaque système est unique. Par conséquent, pour analyser les trajectoires morphologiques potentielles d'un système fluvial, il importe de reconnaître la nature non linéaire des ajustements dans le temps (Lane & Richards 1997, Surian & Rinaldi 2003, Simon & Rinaldi 2006a, Brierley *et al.* 2008, Beechie *et al.* 2008).

L'étude de la trajectoire morphologique fait place à l'analyse de plusieurs variables selon différentes échelles spatiales et temporelles. À l'échelle du bassin versant, les conditions météorologiques et climatiques, la géologie et l'utilisation du sol sont des variables pertinentes à analyser (Brierley *et al.* 2008). Ces dernières ont des effets sur les interactions entre les débits, les apports sédimentaires et la morphologie, et elles agissent sur les patrons d'aggradation et de dégradation du système fluvial pour mener vers des changements morphologiques (Lane & Richards 1997). À l'échelle du tronçon, plusieurs variables peuvent être analysées au niveau de la plaine inondable (morphologie, topographie, connexion avec le chenal), de la géométrie du chenal (pente, largeur, profondeur, formes fluviales), des caractéristiques sédimentaires (taille, forme, proportion de roches volcaniques, profondeur d'accumulation de sédiments fins), de la structure d'écoulement (rugosité, débit, puissance, vitesse et contrainte de cisaillement), de la végétation riveraine (composition herbacée, arbustive, arborescente) et des obstacles à l'écoulement (infrastructures, débris ligneux, embâcle de glace) (Lane & Richards 1997,

Surian & Rinaldi 2003, Simon & Rinaldi 2006a, Brierley *et al.* 2008, Beechie *et al.* 2008). Ces variables ont des effets différents à l'échelle du temps. Par exemple, l'influence géologique, les formes du relief et le confinement entraînent des ajustements à long terme (Beechie *et al.* 2008) (ex : ajustement de la profondeur, de la largeur et de la pente du cours d'eau à la figure 1.2). À court terme, c'est plutôt une suite de perturbations où la nature, la période, la fréquence et la magnitude entraînent des changements morphologiques (Brierley *et al.* 2008) (ex : ajustement de la taille des grains et de la topographie du lit à la figure 1.2).

On peut distinguer différents types de perturbations pour comprendre la dynamique évolutive du système (Brierley *et al.* 2008). La perturbation « rythmique » est reliée aux événements épisodiques localisés, de durée limitée, de faible fréquence et d'amplitude élevée (crues décennales ou centenaires). Les réponses pour ces événements sont spatialement non uniformes. La perturbation « progressive » est un stress continu et en croissance dans le temps et l'espace (ex. : un développement urbain à proximité d'un cours d'eau). La perturbation « en continu » change plusieurs caractéristiques du cours d'eau et provoque des réponses dans un large secteur. Par exemple, les barrages en rivière sont une perturbation « en continu » dans le système fluvial. En aval de leur construction, ils entraînent une diminution de la charge sédimentaire, une incision, un rétrécissement, une modification de la taille des grains au lit, un changement dans les patrons morphométriques (ex. : transition d'un système à tresses à un système à méandres) (Williams & Wolman 1984, Surian & Rinaldi 2003), une uniformité du débit annuel, une homogénéisation de la composition des écosystèmes lotiques et une altération de leurs fonctionnements (Assani *et al.* 2007).

Il est aussi intéressant d'effectuer une analyse de sensibilité et de résilience, et de mesurer l'influence des facteurs historiques et des événements perturbateurs dans le système (Lane & Richards 1997). Ces paramètres permettront d'évaluer la capacité d'ajustement géomorphologique et de déceler une gamme potentielle de scénarios évolutifs. L'étude de Brierley *et al.* (2008) a porté sur la conception de cinq modèles de trajectoires morphologiques ayant subi une dégradation et illustrant leur niveau d'ajustement (Figure 1.5). Chacun des modèles débute par l'état intact de la rivière où aucune dégradation liée à une perturbation anthropique ne s'est produite. Dans le premier

modèle de trajectoire, la rivière intacte réagit aux perturbations naturelles et s'ajuste par ses propres capacités pour retrouver un équilibre. Les auteurs jugent prioritaire de conserver ce type de cours d'eau en implantant des mesures de réhabilitations conservatrices. Le deuxième modèle illustre la trajectoire d'une rivière subissant une dégradation progressive, causée par une perturbation « en continu ». Les perturbations humaines ont mené l'état du cours d'eau vers une détérioration et une homogénéisation progressive de la structure géomorphologique, une dégradation de la qualité de l'eau et des habitats, et une extinction de la faune et la flore. Le régime comportemental du système est altéré et simplifié, mais les changements ne sont pas irréversibles. Puisqu'il est possible de reconduire le cours d'eau à un état non dégradé, les auteurs concluent sur une importante priorité d'intervention en utilisant des techniques minimalistes inspirées des quelques tronçons toujours en bonne condition. Le troisième scénario présente celui d'une rivière qui a subi des changements irréversibles ne montrant aucun signe de réhabilitation. Les perturbations humaines ont entraîné un changement brusque de l'état du système (seuil de changement) et l'ont transformé en un différent type de rivière. Brierley *et al.* (2008) suggèrent d'intervenir dans le bassin versant où les aménagements seront moins coûteux et possiblement plus efficaces pour ralentir la dégradation de la rivière. Le quatrième modèle de trajectoire illustre aussi des changements irréversibles en montrant toutefois des signes de restauration. Le cours d'eau a entrepris une direction où les caractéristiques étaient différentes et les conditions de rétablissement étaient meilleures que celles antérieures. Le degré d'intervention suggéré par les auteurs est élevé et la priorité d'y intervenir est jugée faible à moyenne du côté écologique et bon du côté des bienfaits pour le public. Le dernier modèle propose celui d'une rivière restaurée. La rivière, en dégradation, s'est ajustée et restaurée en empruntant une nouvelle voie (de façon naturelle ou par des interventions humaines). Brierley *et al.* (2008) proposent de cibler des interventions stratégiques à l'écoute des caractéristiques naturelles et comportementales de ce type de rivière. Pour les auteurs, ces modèles ont une approche intéressante pour tester des hypothèses ou pour guider les intervenants vers de bons choix d'aménagement.

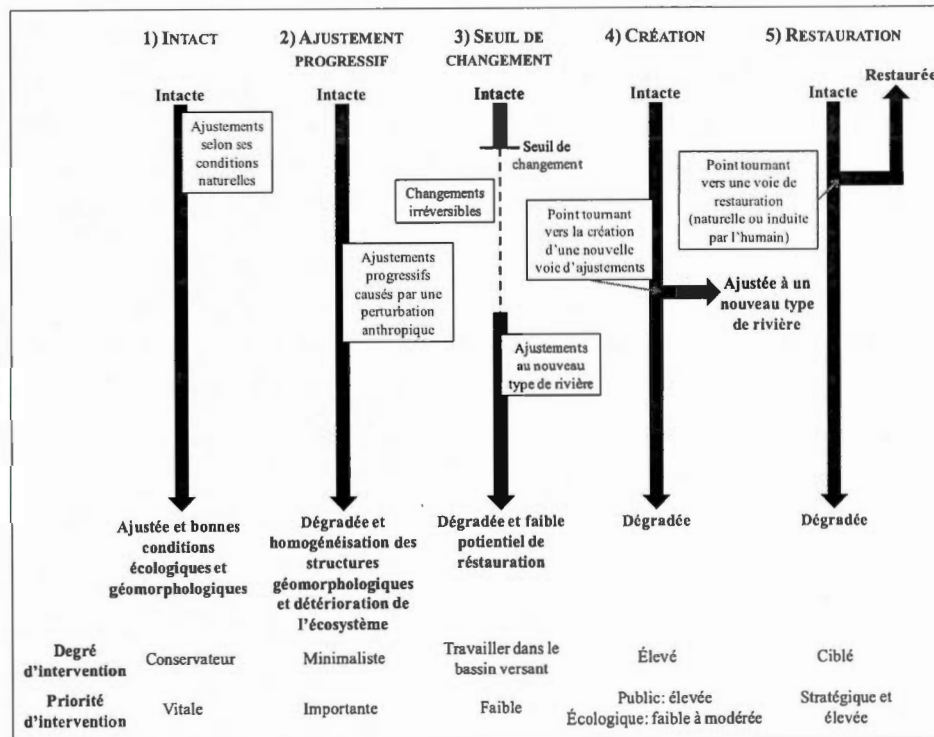


Figure 1.5 Schéma illustrant cinq modèles de trajectoires morphologiques. Chaque trajectoire reflète un type d'ajustement que peut prendre la rivière et décrit le degré et la priorité d'intervention dans le cours d'eau (adapté de Brierley *et al.* 2008).

Il est complexe d'étudier l'ensemble des variables et leurs effets sur la trajectoire morphologique. Il faut statuer sur les variables pertinentes à étudier pour arriver à bien interpréter les interactions entre les formes et les processus. Si un système fluctue très rapidement, il est possible que les changements morphologiques expliquent peu le comportement de la rivière à long terme (Lane & Richards 1997). En d'autres mots, si les processus se produisant sur de grandes échelles de temps et d'espace sont dominants (ajustement de la profondeur, de la largeur et de la pente du cours d'eau), les processus ayant lieu fréquemment et sur de courtes échelles de temps et d'espace seraient considérés au deuxième degré (non prioritaire) dans l'analyse de la trajectoire. Par exemple, les rivières à tresses situées au pied des glaciers subissent des changements morphologiques fréquents

et rapides, en saison estivale, lors des fortes variations de débit journalier (développement et migration des bancs d'accumulation, affouillement et aggradation) (Ashmore 2012). Dans l'analyse de la trajectoire, ces ajustements morphologiques quotidiens sont possiblement moins pertinents pour expliquer les changements se produisant sur de grandes échelles de temps et d'espace (avulsion des chenaux, migration latérale, et bifurcation locale). Il faut toutefois être prudent à séparer les différentes échelles, car le statut des variables dépend de l'importance de la forme et des processus dominants qu'on y attribue et que certains événements peuvent avoir des effets à retardement sur le système. Les auteurs sont unanimes à l'idée que les plans de réhabilitation et de restauration basés sur les trajectoires morphologiques doivent tenir compte des erreurs potentielles si un seul modèle d'évolution est retenu (Lane & Richards 1997, Brierley *et al.* 2008).

1.1.2.1 La trajectoire morphologique des cours d'eau incisés

L'incision se définit selon un processus d'érosion verticale rapide, où l'abaissement du lit du cours d'eau réduit la fréquence et la durée des inondations ainsi que les interactions sur la plaine adjacente (Watson *et al.* 2002). L'incision se produit lorsque la capacité de transport excède l'apport de sédiments fournis par l'amont du cours d'eau ou par ses berges et tributaires (Schumm 1977). Elle prend forme lorsque le cours d'eau et son bassin versant sont soumis à des changements d'utilisation du sol (ex. : urbanisation) ou directement à des modifications dans le chenal (ex. : barrage limitant l'apport en sédiments) dans la plupart des régions semi-arides mondiales (Prosser *et al.* 2000, Watson *et al.* 2002, Surian & Rinaldi 2003, Simon & Rinaldi 2006).

Selon Beechie *et al.* (2008), une rivière s'incise selon deux modèles de trajectoires morphologiques (Figure 1.6). Le modèle emprunté est dicté d'après les caractéristiques géologiques, la force du débit et la capacité du chenal à s'inciser dans les dépôts cohésifs. Les auteurs ont construit ces modèles à partir des ajustements morphologiques de différentes rivières étudiées dans le nord-ouest des États-Unis. Ils ont porté leur attention sur les patrons évolutifs et sur le temps requis à la reconnexion avec la plaine inondable historique.

Le premier modèle correspond aux petits chenaux, profonds et incisés où l'élargissement est quasi-absent après l'incision (la largeur est inférieure à la profondeur de l'incision ou environ égale) (Figure 1.6). Une fois que le chenal subit une perturbation, l'ajustement du cours d'eau débute par une incision au lit (forme verticale marquée). Ce processus augmente la hauteur et la pente des berges, accentuant ainsi les forces gravitationnelles, la chute des sédiments non cohésifs au pied des berges et l'élargissement du chenal. L'élargissement est toutefois limité puisque les sédiments fins érodés des berges s'accumulent au lit. Le faible écoulement ne transporte qu'une petite proportion du substrat tombé des berges. Finalement, l'aggradation mène le chenal vers un quasi-équilibre.

Le deuxième modèle s'applique aux larges chenaux (la largeur est plus grande que la profondeur d'incision) où l'élargissement est suivi du développement de la plaine inondable (Figure 1.6). Dès la perturbation, l'élargissement de chenal est apparent. Les forces hydrauliques au pied des berges (écoulement plus élevé que celui du modèle 1) permettent le transport des sédiments tombés des berges (Simon *et al.* 2000). À un certain stade d'élargissement, la migration latérale et le méandrage apparaissent et permettent graduellement l'aggradation des sédiments au lit. Le cours d'eau finit par atteindre un quasi-équilibre.

Pollock *et al.* (2007) conceptualisent aussi la trajectoire morphologique d'un cours d'eau incisé. (Figure 1.7). Leur schéma conceptuel, basé sur l'étude de rivières du bassin versant du fleuve Columbia aux États-Unis, illustre les processus d'incision et d'aggradation en 6 stades d'évolution. Le premier stade correspond à l'état initial du cours d'eau où le lit est complètement aggradé et connecté à sa plaine inondable, et où la nappe phréatique est près de la surface de la plaine inondable (Figure 1.7A). Ensuite, lorsqu'un changement dans les pratiques d'utilisation du sol se produit, l'incision est enclenchée, entraînant généralement une augmentation de la puissance de l'écoulement. La nappe phréatique s'abaisse, causant la mort de la végétation riveraine, et le chenal se limite à une tranchée étroite (Figure 1.7B). Au troisième stade, la tranchée d'incision s'élargit lorsque le chenal commence à méandrer et une plaine inondable étroite s'établit le long d'une zone riveraine fortement diminuée. Des nouvelles communautés végétales tolérantes à un sol sec se développent sur l'ancienne plaine inondable (Figure 1.7C). Au quatrième stade, la

végétation herbacée et arbustive de la nouvelle plaine alluviale (ex. : carex et saules) piège les sédiments lors des débits élevés et les méandres créés diminuent la pente du chenal. Ainsi, l'aggradation débute et la nappe phréatique s'élève (Figure 1.7D). Au fil du temps, l'aggradation se poursuit et la reconnexion avec la plaine inondable antérieure débute. Les nappes phréatiques continuent aussi d'augmenter en altitude. À ce moment, la diversité végétale est élevée puisque deux communautés végétales sont présentes sur la plaine (communautés tolérantes au sol sec et riveraines) (Figure 1.7E). Si les conditions deviennent favorables aux espèces riveraines, les espèces tolérantes au sol sec meurent et la végétation riveraine continue de croître. Le système revient à son état de préincision, vers un quasi-équilibre (Figure 1.7F).

De façon naturelle, le retour vers un quasi-équilibre des cours d'eau incisés (c.-à-d. la reconnexion avec sa plaine inondable historique) peut prendre entre des centaines et des milliers d'années (Elliott *et al.* 1999). Or, pour favoriser une réhabilitation plus rapide, il existe des techniques permettant l'augmentation de l'aggradation des sédiments au lit. Pollock *et al.* (2007) suggèrent de favoriser la colonisation des castors dans le milieu perturbé. La construction des barrages (environ deux par kilomètre) engendre l'apparition de bassins de rétention et augmente l'aggradation locale annuellement (0,47 m/an). Les castors réduiraient le temps de restauration de 33%. Sans la colonisation des castors, un apport manuel de débris ligneux dans le cours d'eau incisé pourrait aussi favoriser l'aggradation au lit. Les arbres et leurs réseaux racinaires dans le chenal permettent l'accumulation des sédiments et de la matière organique, favorisant ainsi l'aggradation locale et la reconnexion avec la plaine inondable dans les cours d'eau incisés (Sear *et al.* 2010).

Finalement, il faut savoir que les aménagements réalisés dans un cours d'eau en processus d'incision peuvent échouer dépendamment du stade d'ajustement du tronçon (Beechie *et al.* 2008). Les travaux de réhabilitation ou de restauration du lit ne doivent pas survenir avant l'atteinte d'un certain stade d'élargissement et d'aggradation du chenal. Selon Beechie *et al.* (2008), il importe de connaître l'état d'évolution du chenal afin d'adapter la planification de l'aménagement et ainsi garantir une plus grande efficacité.

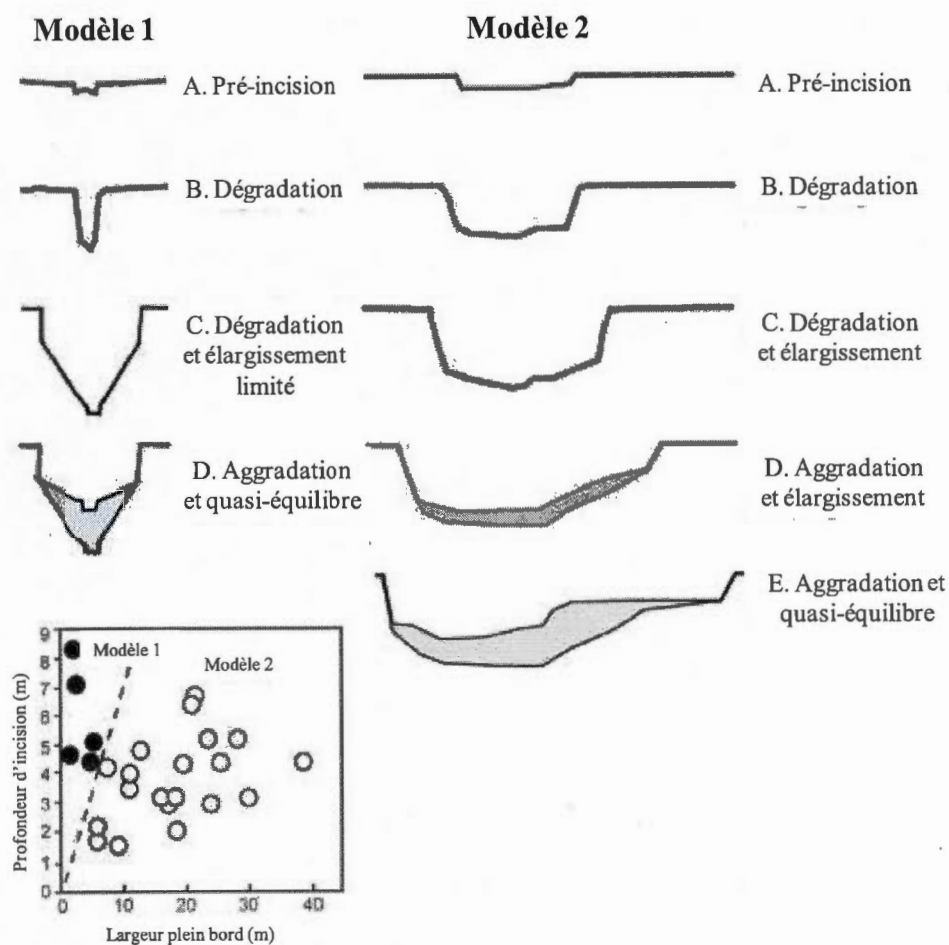


Figure 1.6 Schéma représentant deux modèles d'évolution de rivières incisées. Le modèle 1 est basé sur les petits chenaux profondément incisés et le modèle 2 est appliqué aux larges chenaux (adapté de Beechie *et al.* 2008).

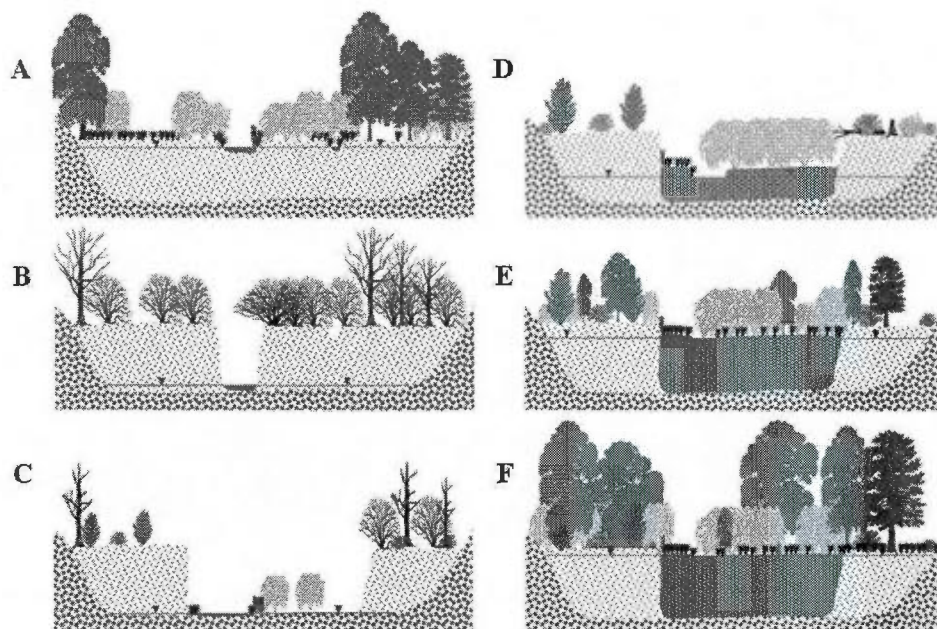


Figure 1.7 Schéma conceptuel du processus d'incision et d'aggradation (adapté de Pollock *et al.* (2007). Le schéma illustre l'état initial (A), l'incision (B), l'élargissement (C), la revégétalisation (C- D), l'aggradation (D- E), la reconnexion avec la plaine inondable (E) et le retour à un quasi-équilibre du cours d'eau (F).

1.1.3 La gestion adaptative

La gestion adaptative est basée sur la capacité d'adaptation des processus de gestion, par le biais de l'apprentissage reçu par le système fluvial (Smith *et al.* 1998, Downs & Kondolf 2002, Pahl-Wostl *et al.* 2007). Ce type de gestion donne plus d'attention à la pluridisciplinarité, aux incertitudes et à différentes stratégies pour améliorer les politiques liées à la gestion de l'eau (Pahl-Wostl *et al.* 2007). Elle assure l'intégration des valeurs locales, politiques, sociales, culturelles, esthétiques et écologiques (Habron 2003, Hillman *et al.* 2005). Elle tient compte de l'évolution et de la complexité de la rivière, et de la collaboration entre la science, les valeurs des communautés et les connaissances locales (Downs & Kondolf 2002, Pahl-Wostl *et al.* 2007, Spink *et al.* 2009, 2010). Il est nécessaire d'avoir des connaissances du passé et d'implanter des suivis d'aménagement pour obtenir

une gestion adaptative (Downs & Kondolf 2002, Pahl-Wostl *et al.* 2007). La transition d'un régime réactif à un régime proactif-adaptatif est difficile. Selon Pahl-Wostl *et al.* (2007), il y a des obstacles qui entravent la mise en œuvre de la pratique de la gestion adaptative : les coûts élevés de la collecte d'informations et des suivis, la résistance des gestionnaires qui peuvent craindre une transparence accrue et une perte de contrôle, les risques politiques en raison de l'incertitude des bénéfices futurs, le manque de financement stable et la peur de l'échec. Pour amorcer une transition vers la gestion adaptative, il doit y avoir une insatisfaction généralisée des stratégies actuelles de gestion. Une approche adaptative ne peut être effectuée sans de profonds changements structurels :

1. Les réalités politiques, sociales, culturelles, économiques et écologiques doivent être prises en compte dans l'élaboration des politiques de gestion et de leurs mises en œuvre (Habron 2003, Newson & Large 2006). En intégrant ces aspects, les stratégies de gestion devraient être diversifiées, solides, améliorées et approuvées. La gestion intégrée de l'eau nécessite une compréhension de la complexité homme-environnement-technologie (Pahl-Wostl *et al.* 2007).
2. L'imprédictibilité, la résilience, la vulnérabilité et la capacité adaptative des systèmes fluviaux sont des facteurs importants à considérer dans les plans de gestion (Pahl-Wostl *et al.* 2007). Le concept de trajectoire morphologique (Brierley & Fryirs 2005) et la complexité de la dynamique d'un cours d'eau (Gregory *et al.* 2008) doivent être adoptés pour mieux comprendre le fonctionnement du système et ses ajustements dans le temps et l'espace. La gestion adaptative doit considérer une gamme de scénarios possibles tenant compte des changements morphologiques influencés par les aménagements.
3. La transparence, l'ouverture des discours entre les scientifiques et les intervenants, et les processus d'apprentissage sont des éléments clés d'un développement durable (Pahl-Wostl *et al.* 2007). Les stratégies de gestion et les objectifs doivent être adaptés à mesure que de nouvelles informations sont disponibles (Hillman *et al.* 2005).
4. La participation d'une plus grande proportion de citoyens dans les processus décisionnels est inévitable (Hillman *et al.* 2005). Il est nécessaire d'acquérir une variété

de connaissances, de pensées et d'opinions provenant d'une diversité démographique et géographique de citoyens (Larson & Lach 2008).

5. Les perceptions et les croyances profondément ancrées bloquent l'innovation et les changements. La créativité, les expériences et les pensées « out-of-the-box » doivent être prônées (Pahl-Wostl *et al.* 2007).
6. Le besoin important de former une nouvelle génération de spécialistes qualifiés pour la gestion adaptative des cours d'eau (Pahl-Wostl *et al.* 2007).

Les efforts dans la gestion adaptative sont mis pour comprendre le système initial et le système modifié vers l'atteinte d'objectifs de gestion durable et efficace. L'intégration et la compréhension des connaissances et des interactions entre l'écologie, la géomorphologie fluviale, l'économie, la politique, les sciences sociales et l'engagement de la communauté doivent être intégrales dans le processus de gestion des cours d'eau (Hillman *et al.* 2005, Hermans *et al.* 2007, Pahl-Wostl *et al.* 2007, Spink *et al.* 2010). On augmente ainsi les perspectives vers une décentralisation des processus décisionnels et vers des pratiques justes et équitables pour l'humain et les écosystèmes. Une telle gestion nécessite du temps, du personnel et des ressources financières (Pahl-Wostl *et al.* 2007). Or ces investissements font partie intégrante de la réalisation des gains durables et de la santé des cours d'eau à long terme.

1.1.4 Les suivis d'aménagement

Tout comme les concepts de trajectoire morphologique et de gestion intégrée, l'instauration de suivis des aménagements n'est pas fréquente au Québec. Néanmoins, au fil des années, plusieurs indicateurs ont été conçus pour évaluer le succès des aménagements. Ils peuvent évaluer l'état du cours d'eau à court, moyen et long terme à partir de paramètres physiques et/ou écologiques.

Les indicateurs physiques sont essentiellement basés sur une approche de géomorphologie fluviale et de trajectoire morphologique. Cette dernière implique une analyse qualitative et quantitative du milieu permettant de fournir des informations sur la

forme et les processus physiques s'opérant dans le système fluvial (Thorne *et al.* 1996). L'analyse qualitative repose sur l'interprétation des processus et des formes en utilisant une observation attentive de l'ensemble du système. Elle peut faire appel à la photo-interprétation. Les analyses quantitatives sont basées sur la théorie des régimes, la géométrie hydraulique et la dynamique sédimentaire. Le diagnostic physique du cours d'eau repose sur l'étude des caractéristiques géomorphologiques: la capacité de transport, l'apport et la taille des sédiments, le type et la densité de végétation, l'abondance des obstructions à l'écoulement (c.-à-d. débris ligneux ou affleurements rocheux), le confinement et la pente de la vallée, et l'historique des perturbations (Montgomery & MacDonald 2002). Dans un programme de suivi, il importe aussi d'étudier la capacité hydrologique du chenal, la récurrence des événements hydrologiques extrêmes, la stabilité du chenal et la réponse hydrologique (Kondolf & Micheli 1995). L'approche géomorphologique permet la compréhension des interactions entre le chenal, la plaine inondable et l'écoulement. Cela permet ainsi une meilleure compréhension du système supportant les structures et les fonctions aquatiques et riveraines. Les paramètres géomorphologiques sont des facteurs déterminants dans les patrons spatiaux-temporels des communautés biologiques.

Les suivis visent aussi à étudier la variabilité spatiale et temporelle de la qualité de l'eau et des habitats à la suite d'un aménagement (Karr 1999). Pour ce faire, plusieurs indicateurs et méthodes d'analyse ont été développés afin d'évaluer l'état de santé des cours d'eau. L'utilisation des indicateurs est une approche scientifique qui intègre à la fois des paramètres écologiques, physiques et chimiques (Yoder & Rankin 1998). Des indicateurs permettent de statuer sur la qualité générale de l'eau pour l'ensemble des usages, dont l'indice bactériologique et physico-chimique de l'eau (IQBP) (Barbour *et al.* 1999). D'autres indices, tels que l'indice de qualité des bandes riveraines (IQBR) (Hébert 1996) et l'indice de qualité des habitats (IQH) (Karr 1999), évaluent les conditions des habitats riverains et aquatiques. La présence d'espèces animales indicatrices, le suivi des populations de poissons (Klein *et al.* 2007) ou l'inventaire des plantes aquatiques et du périphyton sont aussi de bons indicateurs de la qualité de l'eau et des habitats (Barbour *et al.* 1999). Un inventaire de la faune terrestre et aviaire donne plutôt de l'information sur la qualité des habitats environnants (Klein *et al.* 2007). L'indice d'intégrité biotique (IIB) informe sur la capacité du cours d'eau à abriter des communautés biologiques et sur la qualité de l'eau

(Karr 1999, Moisan & Pelletier 2008). Ces méthodes d'analyse permettent de détecter un stress, les sources et les causes de dégradation, d'évaluer l'efficacité des mesures de restauration et de définir les caractéristiques régionales des systèmes fluviaux (Barbour *et al.* 1999). L'étude des composantes géomorphologiques dans un suivi est un très bon complément aux indicateurs biologiques (Poff 1997). En effet, la stabilité d'un chenal peut grandement influencer la qualité des habitats aquatiques (Bauer & Ralph 1999).

L'évaluation de l'état du chenal nécessite une analyse du passé et du présent des bassins versants et des processus dans le cours d'eau (Kondolf & Micheli 1995, Montgomery & MacDonald 2002). Un programme de suivi demande une bonne planification. Kondolf & Micheli (1995) identifient cinq étapes à considérer pour arriver à une évaluation fidèle du milieu et élaborer un suivi rigoureux.

1. Définir les objectifs qui soutiennent l'aménagement (Klein *et al.* 2007). Les composantes étudiées pour le suivi doivent dépendre des prédictions qu'on cherche à émettre en lien avec les réponses du cours d'eau face à l'aménagement (Montgomery & MacDonald 2002).
2. Puisqu'il est rare que des budgets post-aménagement soient prévus, réaliser une campagne de financement pour assurer la faisabilité du suivi. Il faut privilégier les investisseurs qui peuvent tirer profit des résultats du suivi. Par exemple, un regroupement de pêcheurs sera davantage tenté à financer le suivi d'un projet de restauration de frayères qu'un projet d'aménagement de barrage hydro-électrique.
3. Élaborer les objectifs et les méthodologies du programme de suivi. Tout d'abord, une étude historique du territoire (du bassin versant et du cours d'eau aménagé) doit être effectuée afin de bien comprendre l'évolution géomorphologique et biologique de la rivière (Kondolf & Micheli 1995, Montgomery & MacDonald 2002). Après avoir pris connaissance des techniques utilisées pour l'aménagement, on peut définir plus précisément en quoi consistera le suivi et quels seront les critères et les moyens d'évaluation à utiliser. Il peut être nécessaire d'établir des mesures d'urgence qui seront proposées aux aménagistes si de nombreuses dégradations surviennent.

4. S'assurer que le budget du suivi convient aux investisseurs. Si tel est le cas, la collecte des données peut débuter. Idéalement, le programme de suivi devrait s'échelonner sur une durée minimale de 10 ans (Kondolf 1995). Or, pour beaucoup de projets, cet objectif est difficilement réalisable, car un des plus grands défis au niveau de ces programmes est d'assurer un financement à long terme (Klein *et al.* 2007).
5. Collecter et analyser les données pour émettre le diagnostic. Le diagnostic doit comporter différents scénarios qui détecteront et interpréteront les changements qui peuvent se produire dans le chenal étudié (Montgomery & MacDonald 2002) selon différentes trajectoires morphologiques (Fryirs & Brierley 2009).

Enfin, l'élaboration d'un bon programme de suivi dépend de plusieurs aspects et doit faire preuve de rigueur et de cohérence en lien avec les objectifs de l'aménagement.

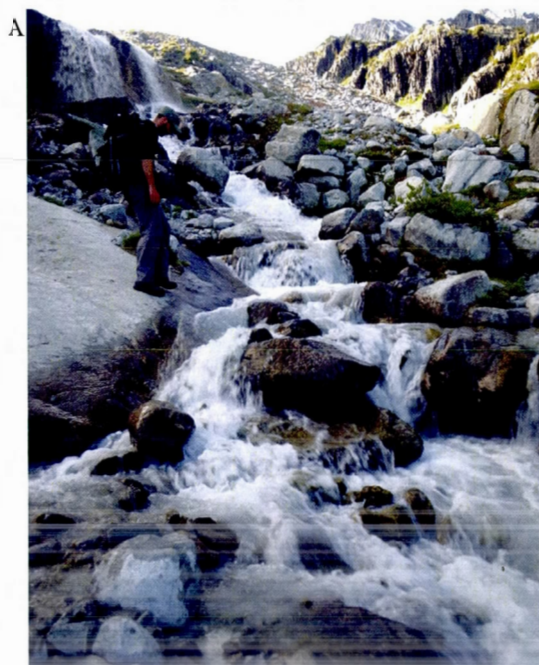
1.1.5 Les petits cours d'eau à forte pente

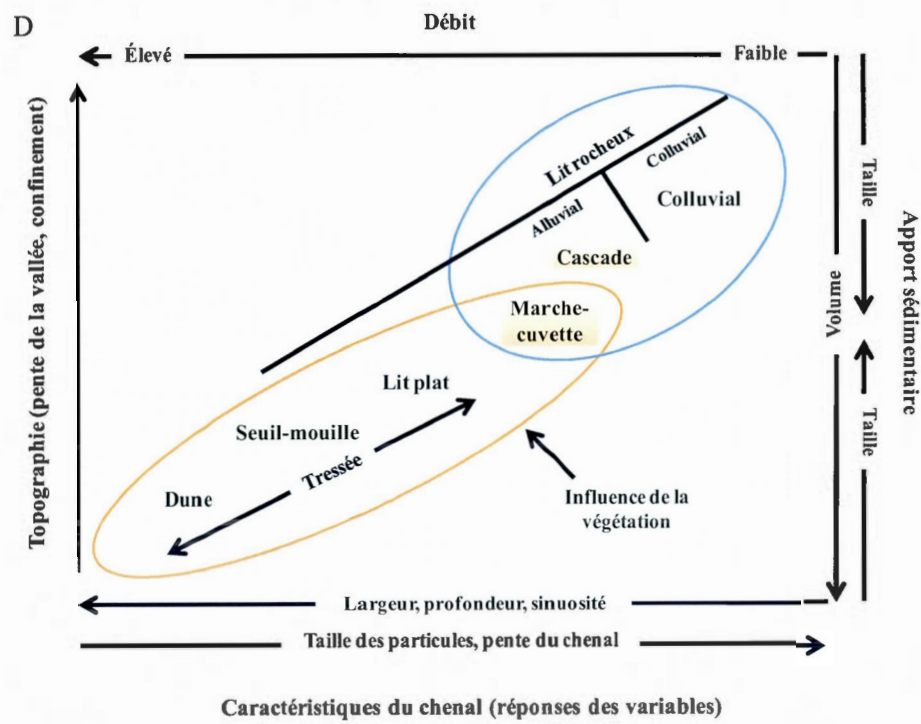
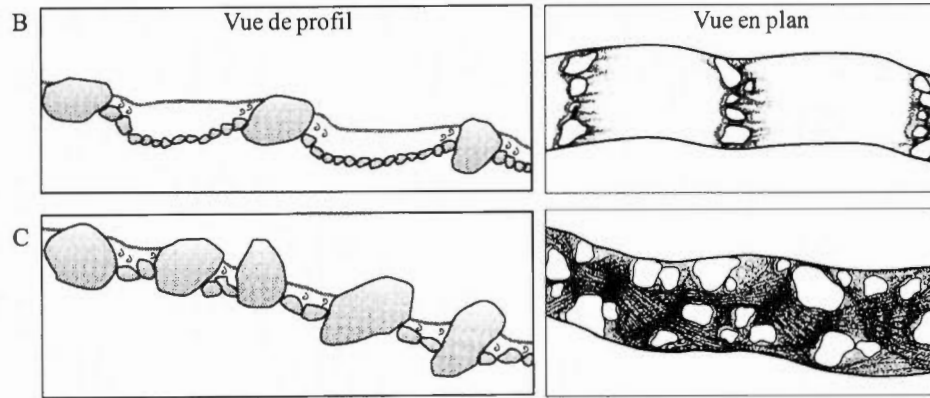
Cette section présente des caractéristiques morphodynamiques et des stratégies d'aménagement des petits cours d'eau à forte pente afin de mieux cerner les processus géomorphologiques du ruisseau Bonhomme-Morency, s'apparentant à ce type de système fluvial.

1.1.5.1 Morphodynamique

Les petits cours d'eau à forte pente sont fréquemment alimentés par des bassins de drainage montagnards et retrouvés à la tête des systèmes fluviaux (Malavoi 1989). Ils sont confinés (absence de plaine inondable) et composés de sédiments de grandes tailles granulométriques ($256 \text{ mm} < \text{blocs} < 1024 \text{ mm}$ et rochers $> 1024 \text{ mm}$) (Montgomery & Buffington 1997). Le diamètre de ces particules, pouvant couvrir l'entière profondeur ou largeur du cours d'eau (Grant *et al.* 1990), crée une rugosité et une turbulence importante au lit (Wohl 2000). Les formes fluviales généralement retrouvées dans ce type de système sont les cascades et les marches-cuvettes (Montgomery & Buffington 1997). Les marches-cuvettes sont l'intermédiaire des rapides et des cascades (Malavoi 1989). Elles apparaissent plus ordonnées et se traduisent par des séquences régulières et organisées d'unités

morphologiques : marche-cuvette-marche-cuvette[...] (Montgomery & Buffington 1997) (Figure 1.8A). L'accumulation des sédiments se fait dans la cuvette et en amont des gros fragments qui composent la marche (Wohl 2000) (Figure 1.8B). En revanche, les cascades sont formées de sédiments plus grossiers (Figure 1.8D), d'une pente plus abrupte (Figure 1.8D) et elles apparaissent moins ordonnées que les marches-cuvettes (Figure 1.8C). Les gros sédiments retrouvés dans les marches-cuvettes et les cascades sont rarement mobilisés et sont généralement stables sous des conditions normales et sur une courte échelle spatio-temporelle (Montgomery & Buffington 1997). Leur déplacement et leur restructuration surviennent lors des événements hydrologiques exceptionnels (crues aux 50 et 100 ans) (Malavoi 1989, Grant *et al.* 1990) et dépendent de la forme, de la taille et de la position des blocs et des rochers dans le chenal (Wohl 2000). Sous un régime climatique froid et humide, ces cours d'eau sont majoritairement alimentés par les précipitations et la fonte des neiges (Wohl 2000).





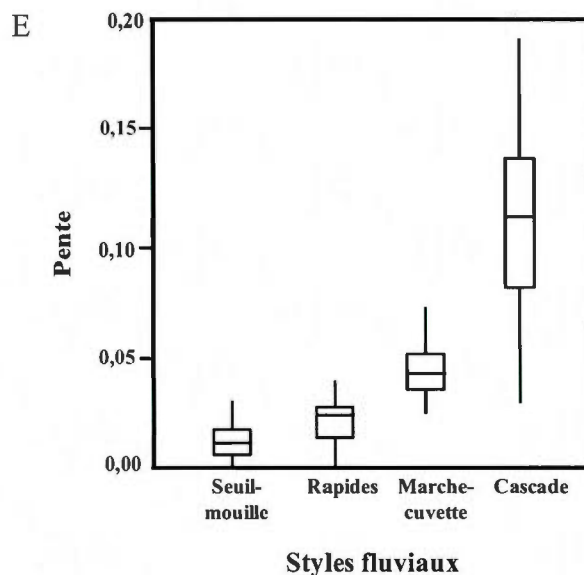


Figure 1.8 Photo d'une séquence marches-cuvettes d'un cours d'eau montagnard des Rocheuses, Colombie-Britannique (A). Schématisation d'une vue de profil et en plan d'une séquence marches-cuvettes (B) et de cascades (C) (adaptée de Montgomery & Buffington 1997). Formes fluviales selon différentes caractéristiques du système fluvial (D) et selon la pente du chenal (E) (adaptée de Buffington 2012).

Les écoulements torrentiels (épisodiques) peuvent alimenter les systèmes fluviaux montagnards où les régimes hydrologiques et hydrauliques sont très dynamiques (Conesa-García & García-Lorenzo 2009). Les cours d'eau torrentiels possèdent des caractéristiques sédimentaires très spécifiques (Nakamura 1986) et ils ont généralement de fortes interactions avec les versants (Johnson & Warburton 2002). Ils agissent sur la morphologie du chenal en jouant sur les apports sédimentaires atteignant le corridor fluvial (Grant *et al.* 1990). Par exemple, une grande quantité de sédiments peut être acheminée jusqu'au cours d'eau lors d'une érosion intense des versants par des coulées de débris. Ces mouvements de masse surviennent lors des périodes de fortes pluies ou de la fonte rapide du couvert nival (Jacob 2001) et peuvent modifier instantanément la topographie du lit (Nakamura 1986). Selon les observations de Liébault (2013), un cours d'eau torrentiel des Alpes Maritimes

s'est incisé sur une profondeur de trois mètres après le passage de deux laves torrentielles en 2010 et 2011, et ce, malgré la présence d'un barrage de correction torrentielle (check-dam) (Figure 1.9). Les laves torrentielles sont composées d'air et d'une eau principalement saturée de grosses particules organiques et inorganiques (VanDine & Bovis 2002). Dans la littérature, ce type de mouvement de masse est aussi appelé laves de ruissellement, coulées de débris ou flots de débris (Jacob 2001). Les principaux facteurs qui influencent l'activité des coulées de débris sont particulièrement la forte inclinaison de la pente du versant, la présence d'un matériel meuble dans le ravin (Van Steijn *et al.* 1988) et l'absence de végétation dans la zone de ravinement (Bertran & Texier 1994).



Figure 1.9 Photo illustrant l'incision de trois mètres d'un cours d'eau torrentiel dans les Alpes-Maritimes de la France.

1.1.5.2 Aménagement des cours d'eau montagnards

Dans les cours d'eau montagnards des Alpes européennes, plusieurs stratégies d'aménagement reproduisant une morphologie marche-cuvette ont été mises sur pied pour stabiliser le corridor fluvial, ralentir l'incision et limiter les apports sédimentaires vers l'aval (Lenzi 2002, Comiti *et al.* 2009). L'aménagement de marches artificielles et de barrages de correction torrentielle (en ciment ou en béton armé) sont des techniques utilisées pour assurer la stabilité de ces cours d'eau (Lenzi 2002, Comiti *et al.* 2009). Ces méthodes doivent à la fois considérer la tendance naturelle du cours d'eau (incluant la restauration des habitats) et la sécurité publique (Lenzi 2002). En comparaison avec l'utilisation des marches naturelles ou artificielles, la présence des barrages est plus dispendieuse, inesthétique et obtient un faible succès de restauration écologique. La diversité, la richesse et l'abondance des communautés de macroinvertébrés occupant les marches artificielles ressemblent davantage à celles des communautés présentes dans les habitats naturels des marches-cuvettes que ceux des barrages de retenue (Comiti *et al.* 2009). Les marches artificielles sont donc un compromis entre l'atténuation des risques, l'esthétique visuelle du paysage et la fonctionnalité écologique. Néanmoins, la construction des barrages est une méthode assurant une meilleure stabilité du tronçon aménagé, particulièrement lors des crues extraordinaires et des laves torrentielles. En dernier lieu, la revégétalisation riveraine des versants dans les bassins versants montagnards est une approche de plus en plus utilisée. Des études en génie biologique réalisées dans des milieux torrentiels des Alpes du Sud en France ont montré de bons taux de succès sur la stabilisation des versants et la réhabilitation des écosystèmes malgré les conditions climatiques, géologiques, hydrologiques et physiques spécifiques de ces environnements (Rey *et al.* 2001, Delcros *et al.* 2009, Evette *et al.* 2009).

1.2 Présentation de la problématique et des objectifs de l'étude

Le ruisseau Bonhomme-Morency, situé dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et affluent de la rivière Trois-Pistoles, a fait l'objet d'un enrochement de grande envergure en 2008-2009. Cet aménagement fait suite au détournement de près de 44 % de la partie amont du bassin versant naturel du ruisseau Renouf vers celui de la rivière Trois-Pistoles. Cette intervention, menée par le gouvernement du Québec en 1977, faisait suite à

une augmentation de la fréquence des inondations de ce ruisseau au centre-ville de Trois-Pistoles. Le cours d'eau Bonhomme-Morency, d'une largeur moyenne d'un mètre, recevait initialement les eaux d'un bassin versant d'une superficie d'environ trois kilomètres carrés. La superficie drainante étant multipliée par trois, le débit de pointe du ruisseau Bonhomme-Morency a été rehaussé de façon importante. Les conséquences de cet aménagement et de l'augmentation des débits dans le ruisseau Bonhomme-Morency constituent, selon la MRC des Basques, l'un des pires désastres environnementaux du Bas-Saint-Laurent (MRC des Basques 2007).

Les systèmes fluviaux sont sensibles aux changements de débits liquides et solides (Simon & Rinaldi 2006b, Gurnell *et al.* 2009). L'augmentation des débits dans le ruisseau Bonhomme-Morency a provoqué un ajustement morphologique majeur sur deux kilomètres du cours d'eau. Considérant le fort dénivelé entre la confluence entre le canal de dérivation et le ruisseau Bonhomme-Morency, le cours d'eau s'est rapidement incisé dans les dépôts deltaïques et les couches argileuses ayant pour conséquence d'entraîner un élargissement marqué du cours d'eau, des décrochements de berges et un charriage démesuré de sédiments dans la rivière Trois-Pistoles. Une dégradation marquée des habitats aquatiques s'est produite suite aux changements morphologiques du cours d'eau (augmentation du débit, incision du lit, eau chargée en sédiments fins, accumulation de débris ligneux dans le chenal). La dynamique d'un écosystème est très sensible aux changements hydromorphologiques (Brierley & Fryirs 2005). Une perte d'habitats a aussi été observée dans la rivière Trois-Pistoles.

Depuis les vingt dernières années, la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et la MRC des Basques ont fait de nombreuses pressions sur le gouvernement du Québec pour que des actions soient entreprises afin de contrer les taux grandissants d'érosion du cours d'eau Bonhomme-Morency. Des travaux majeurs d'entrochement ont finalement été financés par le Centre d'expertise hydrique du Québec à l'hiver 2009 et dirigés par la firme d'ingénierie AECOM. Cet entrochement majeur n'a pas d'équivalent dans les rivières du Bas-Saint-Laurent. Les travaux de stabilisation ont nécessité un investissement de plus de trois millions de dollars. L'eau circule actuellement sous l'entrochement à l'exception des périodes de crues où l'eau est visible à la surface du lit (Figure 1.10). Selon Rheault (2012),

les objectifs de cette lourde intervention étaient de répondre rapidement à un problème majeur dans la rivière Trois-Pistoles (apport élevé en sédiments fins). Aucun objectif de restauration du cours d'eau Bonhomme Morency n'était envisagé.

Les aménagements dans le cours d'eau Bonhomme-Morency sont drastiques et constituent des perturbations dont la magnitude est très élevée à l'échelle du cours d'eau. Que ce soit le détournement d'une partie du bassin versant de la rivière Renouf ou l'enrochement du lit et des berges, le ruisseau Bonhomme-Morency subit des perturbations intenses depuis les quarante dernières années. Plusieurs variables géomorphologiques n'ont pas été considérées dans le choix de la taille des pierres de l'enrochement et aucun programme de suivi n'a été implanté depuis le détournement en 1977. Conséquemment, peut-on penser que cet aménagement est viable à long terme et quelles seront les réponses morphologiques et écologiques du ruisseau Bonhomme-Morency? Pour mieux répondre à ces questionnements, un suivi hydrogéomorphologique a été mis en place pour évaluer la trajectoire morphologique du cours d'eau et son influence sur la qualité des habitats dans la rivière Trois-Pistoles. Ce projet de maîtrise constitue la première étape d'un suivi sur plusieurs dizaines d'années pour suivre l'évolution de l'aménagement. Plus précisément, le projet de maîtrise repose sur les quatre objectifs spécifiques suivants :

1. Faire l'historique des événements anthropiques responsables des changements morphologiques importants dans le ruisseau Bonhomme-Morency et des procédures politiques ayant mené à l'aménagement de 2009;
2. Déterminer la stabilité du matériel d'enrochement et les changements morphologiques potentiels du tronçon;
3. Évaluer l'évolution du colmatage de l'enrochement;
4. Examiner la qualité des habitats dans le tronçon aménagé par le biais d'indicateurs biologiques.



Figure 1.10 Photo illustrant l'énrochement de 2009 dans le cours d'eau Bonhomme-Morency

CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE

Dans un suivi, l'étude combinée des composantes géomorphologiques et écologiques permet de comprendre davantage le fonctionnement des systèmes et des écosystèmes fluviaux (Poff 1997, Bauer & Ralph 1999). Ce projet de maîtrise a été bâti selon une approche interdisciplinaire combinant la géomorphologie et l'écologie fluviale. La méthodologie a aussi été élaborée dans une perspective d'assurer une continuité à long terme du projet dans le *Laboratoire de recherche en dynamique et géomorphologie fluviale* de l'UQAR. L'enrochement majeur date de quatre ans (2009). De ce fait, le suivi actuel est basé pour étudier les changements à court terme provoqués par cet aménagement. Dans les prochaines années, il est prévu de poursuivre l'étude de ces mêmes variables géomorphologiques et écologiques pour comparer et comprendre l'évolution du système.

2.1 Analyse historique

La compréhension de l'évolution d'un système doit tout d'abord se faire par l'historique du cours d'eau, en identifiant les différents événements qui ont mené à son état actuel. Les archives de la MRC des Basques, de la ville de Trois-Pistoles et de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges ont été consultées au cours de l'année 2012. Les documents contenant des informations sur le cours d'eau Bonhomme-Morency, ou sur le cours d'eau Renouf depuis le début des inondations au centre-ville de Trois-Pistoles, ont permis de reconstruire l'historique des événements. Plusieurs correspondances entre le gouvernement du Québec, la MRC des Basques, la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et la ville de Trois-Pistoles ont été récupérées dans les archives et sont présentées en annexe.

Dans le cadre de cette étude, cinq personnes étant intervenues dans l'histoire du ruisseau Bonhomme-Morency ont été reconstruites et interrogées pour connaître leurs implications et leurs perceptions face à la problématique du cours d'eau. Ces cinq personnes, ainsi que leur type d'implication, sont présentées dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 Noms, professions et organismes représentés par les cinq personnes interviewées selon leur implication dans l'histoire du cours d'eau Bonhomme-Morency.

Nom des personnes interviewées	Profession et organisme représenté	Implication dans le projet
M. André Leblond	Ancien maire de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et préfet de la MRC des Basques	<ul style="list-style-type: none"> • Connaît le cours d'eau depuis son jeune âge • A observé l'évolution rapide du ruisseau depuis le détournement en 1977 • A fait de nombreuses pressions auprès du gouvernement afin que des actions soient entreprises pour stabiliser le ruisseau Bonhomme-Morency
M. Benoît Rheault	Aménagiste à la MRC des Basques	<ul style="list-style-type: none"> • A été impliqué dans les pressions faites au gouvernement • A rédigé un communiqué de presse en 2007 et a échangé à quelques reprises avec les médias pour faire connaître la problématique du ruisseau
M. Christian Lavoie	Chargé de projets à la Direction des barrages publics du CEHQ	<ul style="list-style-type: none"> • A pris en charge le dossier du cours d'eau Bonhomme-Morency en 2008 • A été mandaté à la réalisation de l'aménagement
M. Simon Goyette	Ingénieur civil à la firme AECOM	<ul style="list-style-type: none"> • A travaillé sur les plans et devis des travaux de stabilisation du cours d'eau Bonhomme-Morency • A assisté à quelques reprises aux travaux d'enrochement à l'hiver 2009
Mme Claudine Forget	Analyste du secteur hydrique et humide au MDDEFP	<ul style="list-style-type: none"> • A analysé et accepté la demande de certificat d'autorisation permettant les travaux de stabilisation du cours d'eau • A visité le site de la Bonhomme-Morency avant et après l'intervention de 2009

Une photo-interprétation historique a permis de reconstituer l'évolution des changements morphologiques survenus suite au détournement d'une partie des eaux de la rivière Renouf. La photo-interprétation a permis d'étudier l'évolution de la largeur et de la migration latérale du tronçon affecté par les changements de débits. Des photos aériennes (1 : 15 000 de 1985, 1990 et 1995 et de 1 : 10 000 de 1976) et des orthophotographies

(1 : 40 000 de 2001) du Ministère des Ressources Naturelles du Québec ont été utilisés. Le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a accordé au projet deux photos aériennes 1 : 60 000 de l'année 2004. L'utilisation du sol des bassins versants du cours d'eau Bonhomme-Morency et Renouf a été caractérisée en délimitant, sur l'orthophotographie 2001, les zones agricoles, forestières et urbaines. Cette orthophotographie est aussi la photo présentée dans les cartes de la section Résultats.

2.2 Paramètres hydrauliques et hydrologiques

Afin de mieux comprendre et évaluer les processus géomorphologiques se déroulant dans le cours d'eau Bonhomme-Morency, il est essentiel d'obtenir des données sur des variables hydrauliques et hydrologiques. La pente a ainsi été mesurée sur les deux kilomètres du cours d'eau enroché à l'aide d'un GPS RTK (le modèle ProMark 500 de Ashtech) où un point était relevé à tous les trois pas au centre du chenal. Un profil en long a été bâti en lissant les valeurs de pente et a ensuite été comparé à deux autres profils. L'un provient d'un relevé aéroporté à basse altitude réalisé en 2000 par le MTQ où un modèle d'élévation numérique a été bâti (Figure 2.1). L'autre provient de données recueillies par le MTQ en 2007. De ces trois profils, des valeurs de pentes ont été extraites.

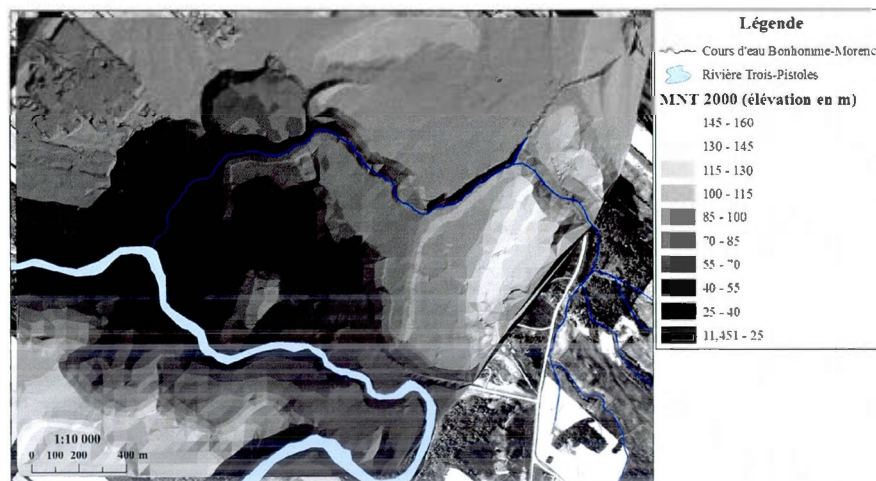


Figure 2.1 Modèle d'élévation numérique (m) du cours d'eau Bonhomme-Morency et d'une section de la rivière Trois-Pistoles, provenant d'un relevé aéroporté à basse altitude réalisé par le Ministère des Transports du Québec en 2000.

Deux stations automatisées de mesures des niveaux d'eau ont été installées dans le secteur étudié (Figure 2.2). Une station était positionnée plus en aval, près d'un pont en béton armé et de la prise d'eau potable de la ville de Trois-Pistoles (à environ quatre cent cinquante mètres en amont de sa confluence avec la rivière Trois-Pistoles). À cet endroit, l'enrochement au lit était quasi absent et permettait un écoulement de surface permanent. Cette station a été aménagée en mars 2011. La seconde station, située dans le canal de dérivation du cours d'eau Renouf et en aval d'un ponceau, a été mise en fonction en mai 2011. Les stations comportaient chacune un capteur de pression Hobo prenant des mesures à toutes les quinze minutes dans la colonne d'eau. Les deux stations ont opéré jusqu'au printemps 2012. Durant la période hivernale, les senseurs ont été retirés des stations afin de ne pas endommager les instruments par le gel. Ils ont été remis en fonction au printemps suivant. Un troisième capteur, positionné près de la station aval, enregistrait la pression atmosphérique. Ces données de pression étaient soustraites à celles prises par les capteurs dans la colonne d'eau. Les valeurs de pression ont été transformées en hauteur d'eau grâce au logiciel Hoboware.

Initialement, les hauteurs d'eau devaient être transformées en valeur de débit. Or, les débits mesurés aux deux stations de jaugeage n'ont pas permis de construire une courbe de tarage adéquate pour effectuer la transformation des données de hauteurs d'eau. La morphologie irrégulière du lit, les grandes variations d'écoulement au fil des saisons et la présence d'un pont (station aval) et d'un ponceau (station amont) limitaient le choix des techniques de mesure de débit. À fort débit, une sonde multimétrique YSI était utilisée pour mesurer le débit par dilution. À faible débit, un courantomètre était utilisé. Hypothétiquement, les instruments ont été défectueux ou des erreurs de manipulations ont eu lieu durant les mesures puisque les résultats de débits ne permettaient pas de comparer les deux techniques pour construire la courbe de tarage. Le débit (Q) a plutôt été calculé à partir d'une formule théorique, utilisant quatre variables physiques, dans onze sections transversales le long du tronçon enroché : rayon hydraulique (R), pente (S), aire de la section transversale (A) et coefficient de rugosité de Manning (n) (éq. 2.1) :

$$Q = \frac{(R^{2/3} S_0^{1/2} A)}{n} \text{ en m}^3 \cdot \text{sec}^{-1} \quad (2.1)$$

où S_0 = pente, R = rayon hydraulique (m) et A = aire mouillée de la section transversale (m^2). La méthodologie associée aux onze sections transversales est décrite à la section 2.4.

Afin de mettre en relation les périodes où l'eau était visible en surface et les conditions hydrologiques, quatre caméras automatisées de chasse Reconyx ont été installées le long du cours d'eau Bonhomme-Morency. Ces dernières prenaient, dans le chenal, des photos à des intervalles réguliers de cinq minutes (Figure 2.2). Une cinquième caméra a été placée face à un versant en forte érosion pour obtenir des séquences des coulées boueuses.



Figure 2.2 Emplacement des deux stations de jaugeage et des cinq caméras Reconyx le long du cours d'eau Bonhomme-Morency. La flèche blanche illustre le sens de l'écoulement.

2.3 Stabilité de l'engrochement

La stabilité de l'engrochement a été évaluée grâce au suivi du déplacement des pierres de l'engrochement. Des transpondeurs intégrés passifs (PIT-tags) ont été installés dans un échantillon de 306 pierres de tailles différentes. Le PIT-tags est un transpondeur inséré dans une petite capsule de verre, d'une taille de vingt-quatre millimètres par trois millimètres et identifié par un numéro d'identification unique (Allan *et al.* 2006). Il est activé lorsque

l'antenne passe près de celui-ci (Lamarre *et al.* 2005). L'antenne circulaire utilisée avait un diamètre de 0,50 m. La durée de vie potentielle d'un PIT-tags peut aller jusqu'à 50 ans (Allan *et al.* 2006). Ceci assure le repérage des transpondeurs dans les prochains suivis faits par le *Laboratoire de recherche en dynamique et géomorphologie fluviale*.

Trois secteurs ont été choisis pour l'implantation des PIT-tags dans le tronçon enroché (Figure 2.3A). Le secteur 1 était situé complètement à l'aval du cours Bonhomme-Morency où l'empierrement date des années 2000 et 2004 (Figure 2.3B). À cet endroit, l'enrochement semblait dynamique. Cet endroit a été choisi effectivement pour mesurer le déplacement des pierres, mais aussi pour examiner si une reconfiguration et un ajustement hydraulique de la position de ces pierres étaient déjà entrepris. Le secteur 2, situé à environ 0,7 kilomètre en amont de la confluence avec la rivière Trois-Pistoles, a été sélectionné pour sa forme encaissée (Figure 2.3C). L'encaissement peut augmenter la vitesse d'écoulement à cet endroit dans le chenal et favoriser le déplacement des pierres. De plus, la pente plus abrupte des berges peut rendre le matériel d'enrochement dans la berge plus susceptible au déplacement. Le secteur 3 était situé dans la zone la plus instable du corridor fluvial du Bonhomme-Morency. De hautes parois argileuses en érosion sont retrouvées entre 1,1 et 1,6 kilomètre en amont de la confluence avec la rivière Trois-Pistoles (Figure 2.3D). Cette zone a été sélectionnée, car des affaissements de berge et des pierres écroulées dans le lit y sont observés. Ces pierres sont maintenant non imbriquées et soumises davantage à la friction de l'eau favorisant ainsi leur déplacement. Ce secteur, étant plus long que les deux précédents, a été divisé en deux pour faciliter la représentation des résultats : secteurs 3A et 3B.

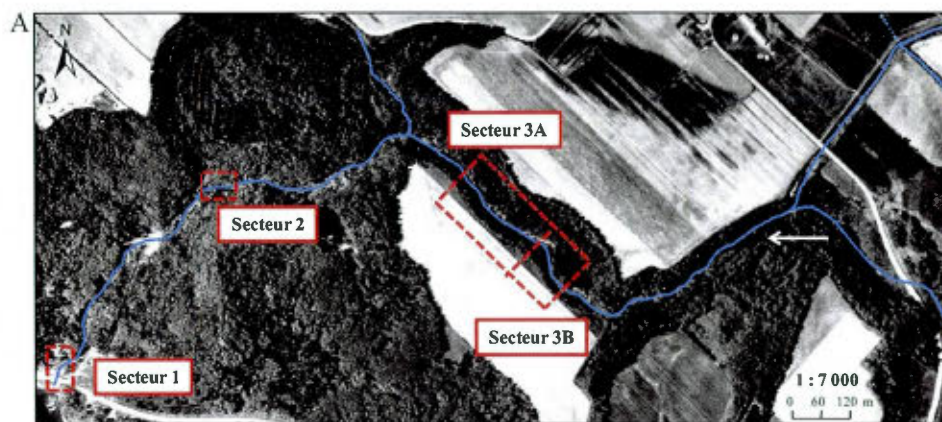




Figure 2.3 A) Positionnement des trois zones de suivi de déplacement des traceurs le long du cours d'eau Bonhomme-Morency. B) Secteur 1, C) Secteur 2 et D) Secteur 3.

Dans les secteurs 1 et 2, cinquante-trois PIT-tags ont été posés et dans le secteur 3, deux cents PIT-tags ont été installés. Sur une distance de cent mètres, environ cinquante pierres étaient échantillonnées de façon aléatoire. Une pierre à tous les cinq pas, en traversant d'une berge à l'autre en zigzag, était marqué d'un transpondeur (Bevenger *et al.* 1995). La majorité des pierres ont été percées pour insérer le transpondeur. Une cinquantaine de transpondeurs (6% de l'échantillon) ont été directement collés sur la pierre. Le D_{50} de l'échantillon était de 37,25 cm. Chaque roche a été positionnée spatialement avec une station totale. Après la crue printanière de 2011 et 2012, tous les transpondeurs ont été repérés, repositionnés avec la station totale et leur déplacement a été mesuré. Le déplacement était considéré lorsque la distance latérale ou vers l'aval était plus de 0,3 m. En deçà de cette valeur, les données étaient considérées comme un mouvement de pivot ou d'imbrication de la pierre, en plus des erreurs de mesure reliées à l'utilisation de la station totale et le positionnement du PIT-tag dans la pierre. La distance de déplacement d'un caillou a toujours été calculée à partir de sa position initiale, à l'automne 2010.

2.4 Évolution du colmatage

Depuis l'aménagement de 2009, l'eau est rarement visible à la surface du lit enroché. Seulement lorsqu'une grande quantité d'eau provient des deux bassins versants, le canal possède un écoulement de surface apparent. Ainsi, l'eau circule généralement entre les interstices des pierres qui ne sont pas colmatées. Selon Goyette (2011), le colmatage des interstices se fera dans la prochaine décennie grâce aux sédiments provenant des versants actifs situés le long du ruisseau. Par conséquent, ce suivi hydromorphologique intègre l'étude de l'évolution du colmatage dans l'enrochement. Trois éléments ont été étudiés pour établir un bon diagnostic du colmatage : 1) évaluation du colmatage dans onze sections transversales, 2) délimitation de trois zones très colmatées et 3) évaluation des apports sédimentaires de versants en forte érosion.

La première méthode consistait à étudier l'évolution du colmatage dans le lit enroché. Le tronçon a été divisé en onze sections transversales (Figure 2.4A). Les sections ont été choisies de manière à détenir un suivi représentatif du tronçon en intégrant les différentes formes de sections transversales (encaissé, peu profonde, large, rupture de pente). Pour chacune de ces sections, un point de peinture résistante à l'eau a été appliqué au centre de chaque roche visible le long de la section (Figure 2.4B). Ce point servait de marque pour positionner chacune des roches avec la station totale et permettre de les repérer dans le temps. Entre les pierres, les interstices profonds étaient aussi positionnés. Le positionnement était fait lorsque la perche tenant le prisme réflecteur de la station totale touchait le fond du lit. Cette méthode a tout d'abord permis d'obtenir deux profils transversaux à l'automne 2010: un profil de surface et un profil de profondeur du lit (Figure 2.4C). Ces mêmes étapes ont été effectuées après la crue printanière de 2011 et de 2012. Les résultats obtenus pour chaque section transversale étaient six profils transversaux : trois profils de surface et trois profils de profondeurs. De plus, la profondeur d'enrochement (hauteur d'enrochement entre le profil de surface et de profondeur) a été calculée pour chacune des sections en 2010, 2011 et 2012. Ces calculs ont permis de vérifier si une augmentation ou une diminution du colmatage avaient eu lieu dans les sections transversales.

Dans chaque section, quatre débits spécifiques (0,1; 1,0; 2,0 et 4,0 m³·sec⁻¹), la contrainte de cisaillement au lit (τ), définie comme la force de friction par unité de surface, et la puissance spécifique (ω), étant la capacité de travail qu'une rivière peut effectuer, ont été calculées selon les équations suivantes (équ. 2.2 et 2.3) (Charlton 2008):

$$\tau = \rho g Y S_0 \quad \text{en N} \cdot \text{m}^{-2} \quad (2.2)$$

$$\omega = \frac{\rho g Q S_0}{W} \quad \text{en W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (2.3)$$

où g = accélération gravitationnelle (kg·m⁻³), ρ = densité du fluide (m·s⁻²), Y = profondeur de l'eau (m) et W = largeur de la section (m). La profondeur moyenne (m) a été calculée selon les hauteurs d'eau associées aux quatre différents débits.



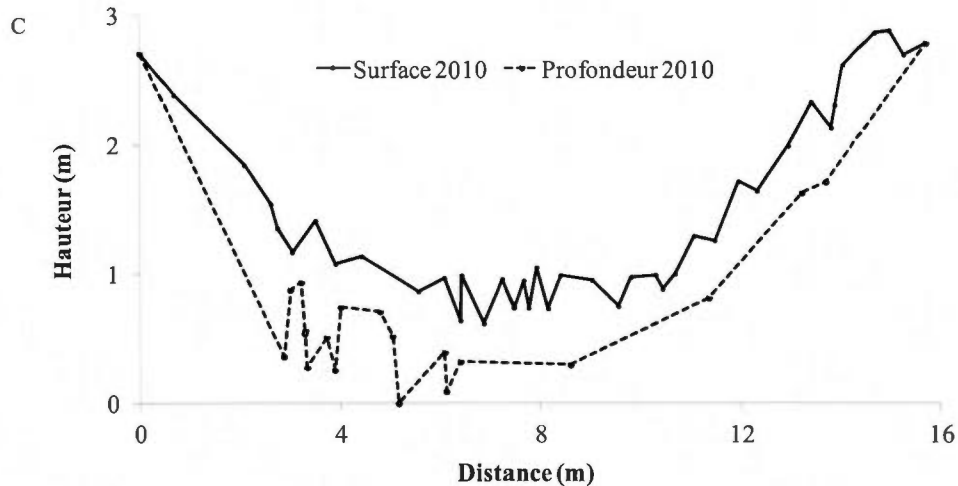


Figure 2.4 A) Positionnement des onze sections transversales, des trois zones de colmatage élevé et des bornes d'érosion. B) Exemple de points de peinture appliqués au centre de chaque pierre visible le long des sections transversales. C) Modèle de profil transversal de surface et de profondeur d'une section transversale. Le profil est orienté de la berge gauche (largeur = 0m) vers la berge droite (largeur > 15 mètres).

La deuxième méthode a été utilisée dans trois zones où le colmatage des roches était beaucoup plus marqué le long du tronçon enroché (Figure 2.4A). La zone 1 est située dans une rupture de pente où l'accumulation de sédiments est élevée, à 300 mètres en amont de la confluence avec la rivière Trois-Pistoles (Figure 2.5A). Les zones 2 et 3 sont situées au pied des versants en érosion à 1,19 kilomètre et 1,22 kilomètre respectivement (Figures 2.5B-C). Le rayon colmaté de chaque zone a été délimité par de la peinture et positionné à la station totale. Après la crue printanière de 2011 et 2012, ces mêmes zones ont été à nouveau délimitées et positionnées. La comparaison des points relevés à la station lors des différentes années a permis de montrer l'expansion des zones colmatées.

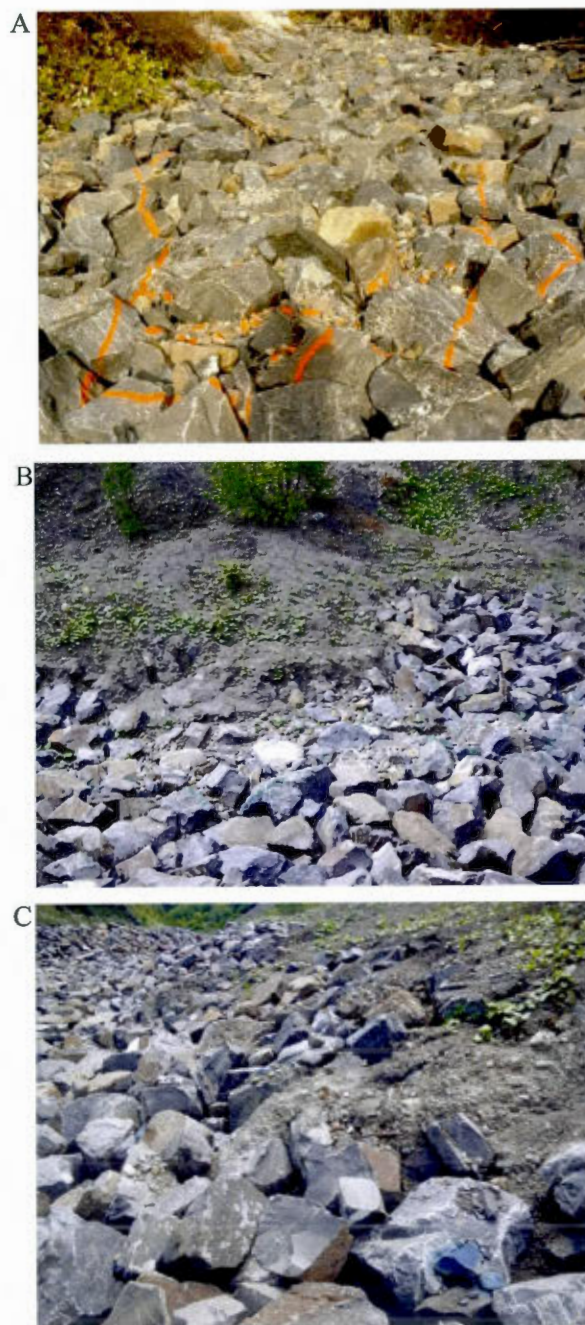


Figure 2.5 A) Zone 1, B) Zone 2 et C) Zone 3 où le colmatage est élevé.

La principale source de sédiments du tronçon enroché du Bonhomme-Morency provient de l'érosion de ses versants sableux et argileux. La troisième méthode est donc basée sur l'apport de ces versants dans l'évolution du colmatage de l'enrochement. Pour ce faire, le taux d'érosion du versant le plus instable du tronçon a été mesuré à l'aide de méthode des bornes d'érosion. Celle-ci est comparable à celle de Bernatchez & Dubois (2010) appliquée en zone d'érosion côtière. Des paires de bornes ont été installées au sommet des escarpements à tous les quinze mètres et elles ont été positionnées au GPS à l'automne 2010 (Figure 2.4A). La première borne était installée près du bord de la paroi et la seconde, près du champ cultivé. Chaque borne a été mesurée à partir du bord de l'escarpement. Finalement, le recul a été calculé au printemps 2011 et 2012 afin d'évaluer qualitativement l'apport sédimentaire contribuant au colmatage.

2.5 Évaluation de la qualité des habitats

La variabilité spatiale et temporelle de la qualité de l'eau et des habitats après un aménagement sont aussi des composantes importantes à étudier dans un suivi (Karr 1999). Plusieurs indicateurs ont été développés pour évaluer l'état de santé des cours d'eau (Chapitre I, Section 1.1.4). Dans le suivi d'aménagement du Bonhomme-Morency, une évaluation de l'intégrité biotique a été privilégiée. Cette méthode informe sur la qualité de l'eau et sur la capacité du cours d'eau à abriter des communautés biologiques (Karr 1999, Moisan & Pelletier 2008). L'intégrité biologique a été évaluée en étudiant les communautés de macroinvertébrés benthiques retrouvées dans le secteur étudié.

Les macroinvertébrés sont des organismes visibles à l'œil nu qui occupent notamment les zones benthiques des milieux aquatiques (Bode *et al.* 1991). En eau douce, on retrouve principalement des larves d'insectes, des vers, des mollusques et des crustacés (Moisan & Pelletier 2008). Les macroinvertébrés sont de très bons indicateurs de l'altération des habitats puisqu'ils sont très sensibles aux changements physiques (profondeur, vitesse de l'écoulement, taille du substrat, qualité de l'eau). Ils sont aussi des composantes vitales dans la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Karr & Chu 1999). Par ailleurs, puisqu'ils sont moins mobiles que les poissons et qu'ils sont relativement faciles à prélever et à dénombrer, leur échantillonnage est souvent préconisé dans les suivis de

qualité des habitats (Bode *et al.* 1991). Un aspect intéressant de l'utilisation des macroinvertébrés est que les taxons réagissent différemment aux perturbations. En effet, chez les insectes, les larves de la famille des *Chironomidae* sont très tolérantes à la dégradation de l'eau et des habitats (Hilsenhoff 1988, Bode *et al.* 1991). L'unique présence de chironomides peut traduire une dégradation de la qualité de l'eau et des habitats. Les larves d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères (EPT), quant à elles, sont sensibles à la dégradation de l'habitat (Moisan & Pelletier 2008). Elles sont aussi communément utilisées comme indicateurs.

Pour cette étude, sept stations propices à la colonisation des macroinvertébrés ont été échantillonnées (stations avec écoulement de surface visible la majorité de l'année) (Figure 2.6A). Trois stations étaient directement situées dans le tronçon aménagé du Bonhomme-Morency (MI1-MI2-MI5). Les quatre autres stations se trouvaient à l'extérieur du tronçon enroché du ruisseau : MI6 était en amont de l'enrochement du Bonhomme-Morency, MI3 se situait dans un tributaire du Bonhomme-Morency, MI7 était dans le canal de dérivation du ruisseau Renouf et MI4 se trouvait dans le cours d'eau Renouf vers le centre-ville de Trois-Pistoles. Ces quatre stations ont servi de témoins pour comparer les communautés vivant dans les secteurs aménagés et non aménagés. Les organismes ont été prélevés au filet Surber (Figure 2.6B). Le filet Surber est déposé dans le cours d'eau, en aval de la station à échantillonner. Il recueille tous les organismes présents dans la colonne d'eau une fois le substrat brassé pour déloger les organismes fixés sur les roches (Moisan & Pelletier 2008). Un tri était effectué sur le terrain pour extraire de l'échantillon le substrat grossier (Figure 2.6C). Les échantillonnages se sont déroulés à l'automne 2010 et 2011 et au printemps 2011. Aucun échantillon n'a été prélevé durant l'été, car durant cette saison, l'écoulement est très faible et les habitats propices à la colonisation des organismes dans la majorité des stations sont de très petites superficies. Les perturbations causées par l'utilisation du filet seraient grandes et diminueraient drastiquement les populations pour le reste de la saison estivale. En laboratoire, les organismes échantillonnés ont été identifiés à la famille à l'aide des clefs d'identification de Merritt & Cummins (1996), Thorp & Covich (2001) et de Moisan (2010).



Figure 2.6 A) Positionnement des sept stations d'échantillonnage de macroinvertébrés benthiques pour l'évaluation de la qualité des habitats. B) Filet Surber. C) Tri des macroinvertébrés benthiques échantillonnés sur le terrain au printemps 2011.

Plusieurs indices ont été calculés afin d'obtenir des informations sur la qualité des habitats présents dans le cours d'eau Bonhomme-Morency : l'abondance totale d'organismes dans les échantillons (n), le pourcentage du taxon dominant, la richesse taxonomique d'EPT et totale (nombre de taxons d'EPT et nombre de taxons total recueilli pour chaque échantillon), l'abondance relative d'EPT, de chironomides, de diptères non chironomides, d'invertébrés autres que les insectes (ex. : amphibiens, annélides, arachnides, bivalves et gastéropodes) et de taxons intolérants (Feminella 1996, Angradi 1999, Muzaffar & Colbo 2002). De plus, l'indice de diversité de Shannon (H') a été mesuré pour obtenir l'abondance relative d'organismes dans chaque échantillon (eq. 2.4) (Barbour *et al.* 1999).

$$H' = - \sum \frac{x_i}{n} \log \left(\frac{x_i}{n} \right) \quad (2.4)$$

Où x_i = nombre d'individus du i^e taxon et n = abondance totale d'organismes dans l'échantillon.

L'indice biotique d'Hilsenhoff pour les organismes identifiés à la famille (FBI) a aussi été mesuré. Cet indice mesure le degré de pollution organique de la station basée sur la tolérance des individus à la pollution (eq. 2.5) (Hilsenhoff 1988).

$$FBI = \sum \frac{x_i t_i}{n} \quad (2.5)$$

Où t_i = tolérance du i_e taxon.

Les résultats de FBI pour chaque échantillon ont ensuite été classés selon une échelle d'interprétation conçue par Hilsenhoff (1988) :

0,00 à 3,75	Excellente : sans pollution organique
3,76 à 4,25	Très bonne : légère pollution organique possible
4,26 à 5,00	Bonne : pollution organique probable
5,01 à 5,75	Moyenne : pollution organique assez substantielle
5,76 à 6,50	Plutôt mauvaise : pollution organique substantielle
6,51 à 7,25	Mauvaise : pollution organique très substantielle
7,26 à 10,00	Très mauvaise : pollution organique grave

Un indice multimétrique a été mesuré pour informer sur la santé biologique globale des stations échantillonnées. Cet indice permet de combiner plusieurs indices simples en une seule valeur (Barbour *et al.* 1999). Les indices utilisés étaient l'abondance relative du taxon dominant, d'EPT et de chironomides, la richesse taxonomique d'EPT et totale ainsi que l'indice biotique d'Hilsenhoff (Moisan & Pelletier 2008) (Tableau 2.2). Le résultat obtenu a ensuite été interprété selon une échelle de santé biologique (Tableau 2.3).

Tableau 2.2 Formules des indices pour calculer l'indice multimétrique

Indices (variable=X)	Formules	
FBI	$[(10-X)/7] \cdot 100$	FBI : Indice biotique d'Hilsenhoff EPT : Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères Chiro : Chironomides
Abondance relative du taxon dominant	$[(100-X)/75] \cdot 100$	
Abondance relative EPT	$(X/90) \cdot 100$	
Abondance relative chiro	$[(100-X)/98] \cdot 100$	
Richesse taxonomique totale	$(X/22) \cdot 100$	
Richesse taxonomique d'EPT	$(X/13) \cdot 100$	
Indice multimétrique	Moyenne des six variables	

Tableau 2.3 Échelle de l'état de santé du cours d'eau selon les valeurs de l'indice multimétrique

État de santé	Valeurs de l'indice multimétrique
■ Pauvre	< 50
■ Marginal	50 à 64,9
■ Sous-optimal	65 à 80
■ Optimal	> 80

Pour obtenir un indice sur la qualité des habitats (IQH), des caractéristiques physiques influençant les communautés biologiques ont été relevées sur le terrain (substrat benthique, disponibilité des abris, ensablement, envasement, vitesse, profondeur, sédimentation, degré de marnage, modification du cours d'eau, fréquence des seuils,

stabilité des berges, protection végétale des berges et largeur de la bande riveraine; Annexe A). L'IQH permet d'évaluer le potentiel du cours d'eau pour la vie aquatique, de caractériser la présence, le niveau, les sources et les causes de la dégradation de l'habitat (Moisan & Pelletier 2008). Les résultats obtenus ont été interprétés selon une échelle de santé biologique (Tableau 2.4).

Tableau 2.4 Échelle de l'état de santé du cours d'eau selon les valeurs de l'indice de qualité des habitats (IQH)

État de santé	Valeurs de l'indice sur la qualité des habitats (IQH)
■ Pauvre	0 à 8
■ Marginal	9 à 15
■ Sous-optimal	16 à 23
■ Optimal	24 à 30

Un suivi de qualité d'eau a aussi été entrepris de mai à octobre 2011 par l'Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-St-Laurent (OBVNEBSL). M. Fernand Larin, technicien municipal à la MRC des Basques, a recueilli six échantillons dans le cours d'eau Bonhomme-Morency, près de la confluence avec la rivière Trois-Pistoles. Ces échantillons ont été analysés par l'OBVNEBSL selon l'indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau (IQBP) d'Hébert (1997). L'IQBP a été obtenu en compilant les résultats de paramètres mesurés dans les échantillons, nommés sous-indices de qualité: coliformes fécaux, chlorophylle *a* totale, matières en suspension, nitrites et nitrates, azote et ammoniac et phosphore total. L'IQBP reflète le résultat du sous-indice le plus faible, le descripteur limitant (Hébert 1997). L'IQBP est par la suite classé selon un degré de qualité :

80-100 : eau de bonne qualité permettant généralement tous les usages, y compris la baignade;

60-79 : eau de qualité satisfaisante permettant généralement la plupart des usages;

40-79 : eau de qualité douteuse, certains usages risquent d'être compromis;

20-39 : eau de mauvaise qualité, la plupart des usages risquent d'être compromis;

0-19 : eau de très mauvaise qualité, tous les usages risquent d'être compromis.

CHAPITRE III

RÉSULTATS

3.1 Historique

3.1.1 Le détournement du ruisseau Renouf

Le bassin versant du ruisseau Renouf se divise en deux tronçons, un tronçon principal et un tronçon secondaire (Figure 3.1). Le tronçon principal se situe plus à l'est et emprunte une partie du terrain de l'école secondaire, tandis que le tronçon secondaire traverse l'ouest de la ville. Les deux tronçons se rejoignent plus au nord pour finalement se déverser dans l'Estuaire du St-Laurent. Avant 1977, le tronçon principal avait un débit environ deux fois plus élevé que celui du tronçon secondaire. La superficie naturelle du bassin versant est de 12,9 km² et se compose de 8 % de zones urbaines, de 28 % de zones forestières et de 64 % de zones agricoles.

L'histoire débute lors de la construction de l'école secondaire l'Arc-en-ciel en 1968 dans la ville de Trois-Pistoles. L'école est construite au centre d'une zone de rétention naturelle et de laminage du tronçon principal du ruisseau Renouf, dans la partie aval de son bassin versant (Tremblay *et al.* 1974) (Figure 3.1). L'implantation de l'école nécessite l'aménagement d'un canal de dérivation à ciel ouvert à l'est de l'école ainsi qu'une canalisation fermée sous le stationnement du côté ouest. La taille des canalisations est toutefois mal évaluée et s'avère insuffisante pour assurer tout le passage de l'eau lors des crues du ruisseau Renouf. Annuellement, des inondations dans le secteur de l'école surviennent lors des crues printanières et automnales. Les inondations créent des dommages aux rues avoisinantes et aux propriétés riveraines, et empêchent tout développement

résidentiel dans les secteurs environnants (Réal Lajoie & Associés 1973) (Figure 3.2). Suite à de nombreuses plaintes formulées par la Commission scolaire régionale du Grand-Portage et par des résidents du secteur inondé, le conseil municipal de la ville de Trois-Pistoles mandate la firme d'ingénieurs-conseils *Réal Lajoie & associés* pour faire une étude sur des solutions potentielles aux problèmes d'inondations. Au printemps 1973, la firme propose de canaliser les deux tronçons, avec des canaux à ciel ouvert, à environ cent cinquante mètres à l'ouest des limites de la ville et de détourner les eaux du tronçon principal dans celles du tronçon secondaire. Il propose aussi d'augmenter la taille de la canalisation plus en aval dans le centre-ville pour éviter toute autre inondation dans la zone urbaine. La Commission scolaire engage également les services d'une firme en génie-conseil pour remédier aux problèmes d'inondation sur le terrain de l'école secondaire (Tremblay *et al.* 1974). La firme *Boucher, Pelletier et Associés* suggère aussi le détournement des eaux du ruisseau Renouf en plus de réaménager le terrain de l'école détérioré par les inondations.

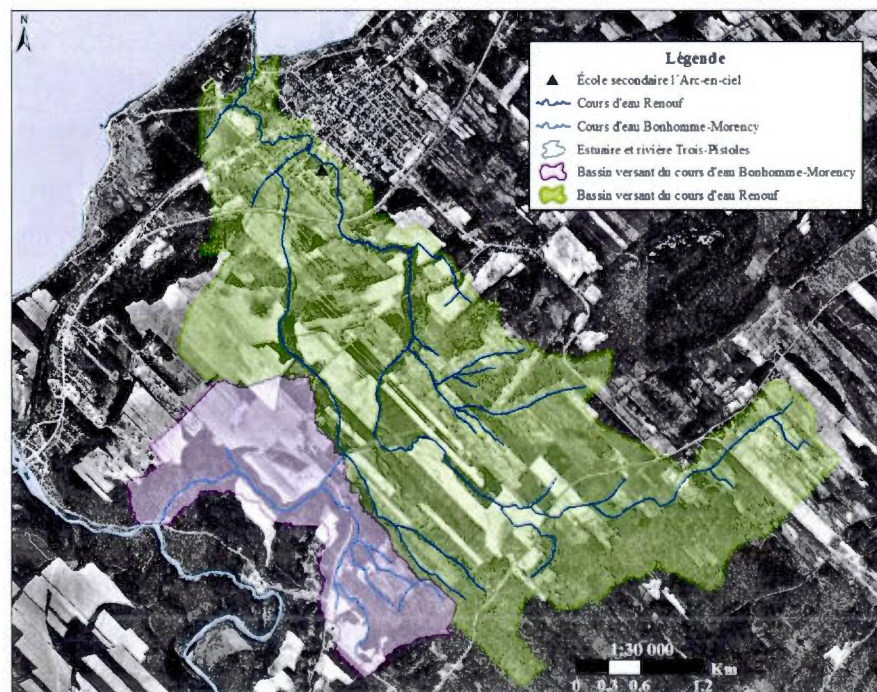


Figure 3.1 Bassins versants des cours d'eau Renouf (en vert) et Bonhomme-Morency (en violet) situés dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges.



Figure 3.2 Photos datant des années 70 et illustrant les dommages causés par les crues dans le ruisseau Renouf près de l'école de secondaire (avant le détournement). Les photos proviennent des archives de la ville de Trois-Pistoles.

La ville de Trois-Pistoles communique par la suite avec le Ministère des Richesses Naturelles du Québec (MRN) pour solliciter une collaboration financière à la réalisation des projets proposés par les deux firmes (Tremblay *et al.* 1974). À l'automne 1973, le MRN contacte la ville de Trois-Pistoles et la Commission scolaire régionale du Grand-Portage. Il leur annonce que le ministère interviendra financièrement pour régler les problèmes d'inondations, mais qu'il disposera d'un plan d'aménagement différent (Annexes B.1 et B.2). Le MRN reproche, des propositions d'interventions des deux firmes, les coûts élevés (un million de dollars) et l'abandon des ouvrages hydrauliques déjà présents sur le territoire (ponts, ponceaux, murs de soutènement stables, berges boisées). Le ministère prévoit plutôt implanter des ouvrages de rétention et de dérivation de 430 000 \$ dans le bassin versant du ruisseau Bonhomme-Morency, appelé *ruisseau sans nom* à cette époque (Tremblay *et al.* 1974). Cet aménagement a pour objectif de diminuer, en ville, le débit de pointe du ruisseau Renouf et de permettre le redimensionnement de la canalisation sur le terrain de l'école secondaire.

En 1977, deux digues sont érigées à la hauteur du 2^e Rang Ouest pour contrôler la quantité d'eau du tronçon principal et secondaire coulant vers le centre-ville (CEHQ 2005) (Annexe C.1). Une canalisation d'une longueur de sept cents mètres est aussi construite pour détourner les eaux en surplus vers la rivière Trois-Pistoles. Les ouvrages sont basés sur les événements hydrologiques centennaux. Le débit centennal pour le tronçon principal était de $18,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ et pour le tronçon secondaire de $8,5 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (Annexe C.2). Après le détournement, ce débit est diminué à $9,2 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ pour le tronçon principal et de $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ pour le tronçon secondaire. Une canalisation fermée, contournant l'école secondaire, est aussi construite sur 480 mètres de longueur. La taille de la canalisation est dimensionnée pour un débit de $9 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$. Chez la majorité des propriétaires riverains, le lit majeur du ruisseau Renouf est remblayé et des murets de protection sont érigés. Finalement, le MRN exproprie environ quinze mètres de bandes riveraines de part et d'autre du cours d'eau Bonhomme-Morency (Annexe C.3). Les coûts finaux engendrés par les travaux de détournement ne sont présentés dans aucun document retrouvé dans les archives.

En 1986, une entente a lieu entre la ville de Trois-Pistoles et le ministère de l'Environnement du Québec pour assurer l'entretien et l'efficacité des ouvrages de rétention et de dérivation (Annexe B.3). En résumé, le ministère de l'Environnement s'engage à entretenir les ouvrages de contrôle et de dérivation et d'assumer les coûts de déneigement des chemins d'accès aux ouvrages. La ville de Trois-Pistoles s'engage à effectuer une vérification hebdomadaire des lieux et d'assurer la surveillance du cours d'eau lors des crues. Ainsi, une personne est responsable de réguler l'ouverture des vannes selon les débits du ruisseau Renouf pour prévenir les risques d'inondations au centre-ville (Rheault 2012). Lorsque le débit à Trois-Pistoles est en hausse, les vannes dans les deux conduites sont fermées. Pourtant, depuis le milieu des années 90, plus aucune régulation des débits dans les digues n'est effectuée. L'ouverture de la conduite du tronçon principal est plutôt maintenue à vingt centimètres et celle du tronçon secondaire à trente centimètres (correspondant aussi à son ouverture maximale). Une grande quantité d'eau supplémentaire s'écoule donc en permanence vers le ruisseau Bonhomme-Morency.

3.1.2 Les impacts sur le ruisseau Bonhomme-Morency et la rivière Trois-Pistoles

La superficie initiale du bassin versant du cours d'eau Bonhomme-Morency est de 3,1 km² et se compose de 41 % de zones forestières et de 59 % de zones agricoles. Avant le détournement, le ruisseau se traversait d'une seule enjambée et l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) y était pêché (Leblond 2012). La portion du bassin versant du ruisseau Renouf détournée a augmenté la superficie de drainage du Bonhomme-Morency à 8,8 km², soit presque trois fois sa superficie initiale (Figure 3.3). Le nouveau bassin versant du Bonhomme-Morency est maintenant composé à 39 % de zones forestières et 61 % de zones agricoles. En 2006, la Commission de Toponymie du Québec officialise le nom du cours d'eau Bonhomme-Morency.

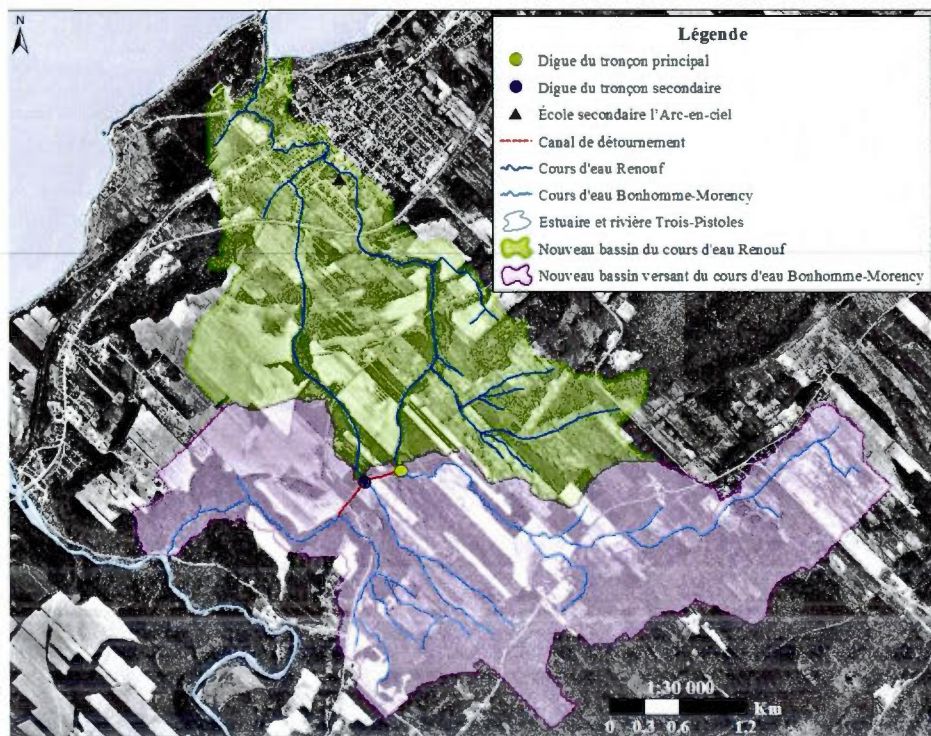


Figure 3.3 Nouveaux bassins versants du ruisseau Renouf (en vert) et du Bonhomme-Morency (en violet) situés dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges.

Le détournement d'une partie des eaux du cours d'eau Renouf dans celui du Bonhomme-Morency a les effets escomptés pour la ville de Trois-Pistoles. Le peu d'eau coulant dans la rivière Renouf ne provoque plus d'inondation dans les secteurs à risques près de l'école secondaire. Toutefois, la problématique est déplacée en amont dans le cours d'eau Bonhomme-Morency. Les eaux détournées entraînent une série d'ajustements basés sur une forte érosion régressive et une incision du lit du ruisseau (Figure 3.4A). Ces processus provoquent de nombreux glissements de terrain et des décrochements de berges argileuses (Figure 3.4B). L'incision se fait tout d'abord dans les dépôts deltaïques et par la suite dans l'argile marine (Dionne & Héroux 1966). Il y a une élimination complète du pavage naturel dans le lit du cours d'eau au niveau des zones à forte pente (Bouffard 2008). Le substrat argileux, directement exposé aux forces de cisaillement au lit, est lessivé, même en condition de faible débit, et donne une couleur brunâtre à l'eau (CEHQ 2005). Le décrochement de berges cause une forte accumulation de bois morts dans le chenal (Leblond 2012) (Figure 3.4C). Selon Bouffard (2008), les débris ligneux accumulés ont pour effet de modifier la dynamique d'écoulement en créant des seuils et d'entraîner une migration latérale du chenal, accentuant ainsi la problématique d'érosion et de décrochements des berges. À la figure 3.5, il est possible d'apercevoir l'élargissement et la migration latérale du chenal sur les photos aériennes de 1976 à 2004. C'est durant les premières années après le détournement que les ajustements sont plus marqués (photos 1976 et 1985). Durant les années suivantes, l'élargissement et la migration latérale continuent de façon plus graduelle. En 2008, la pente est élevée, l'eau s'écoule sur une largeur variant entre un et quatre mètres et la profondeur de l'eau varie entre deux et quarante centimètres (Bouffard 2008). Le secteur le plus actif (Figures 3.4A, 3.4D et 3.4B) possède des berges dont la hauteur varie entre vingt et trente mètres et la largeur du chenal dépasse les trente mètres. À certains endroits, la totalité de la bande riveraine expropriée avant le détournement s'est érodée (Leblond 2012). La qualité d'habitat pour le poisson du ruisseau Bonhomme-Morency passe de moyenne à nulle (Bouffard 2008). La grande quantité de seuils constitués de débris organiques rendent le milieu inaccessible pour le poisson. De plus, une forte concentration de sédiments en suspension entraîne des stress physiologiques chez les poissons, une dégradation des aires d'alimentation et de reproduction et même la mortalité des individus (Newcombe & Jensen 1996).

La morphologie du cours d'eau Bonhomme-Morency s'avère manifestement différente depuis le détournement. Sa trajectoire morphologique intègre une perturbation « en continu » (le détournement des eaux du ruisseau Renouf) et des ajustements morphologiques causés par cette perturbation. Ses ajustements se traduisent par une interrelation entre les processus (incision et érosion) et les formes (augmentation de la largeur, de la profondeur, de la pente et de la migration latérale). Sans détournement, la trajectoire morphologique du cours d'eau Bonhomme-Morency serait très différente.





Figure 3.4 Photos illustrant la forte incision (A), l'érosion des berges et les coulées boueuses (B), les arbres accumulés dans le lit (C, D) du cours d'eau Bonhomme-Morency à l'année 2008.

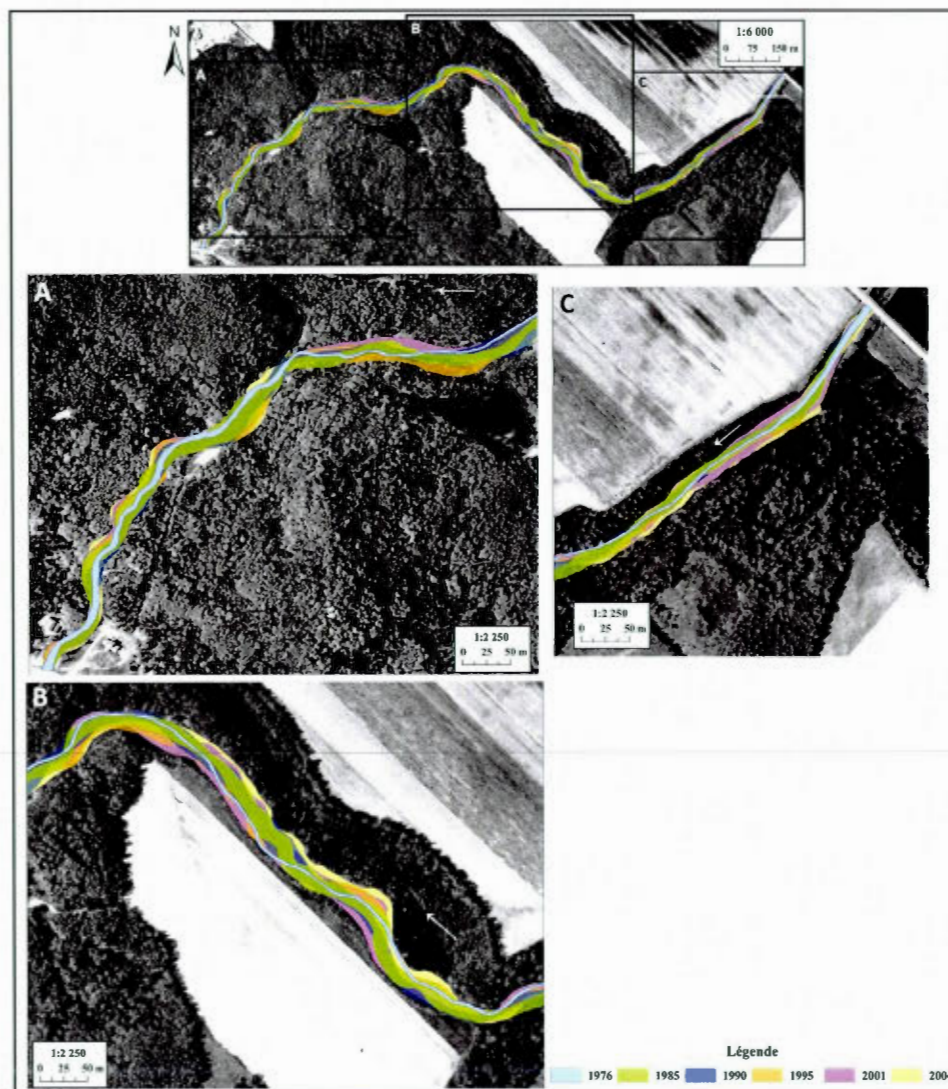


Figure 3.5 Photo-interprétation de la migration latérale du cours d'eau Bonhomme-Morency à partir des photos aériennes de 1976, 1985, 1990, 1995, 2001 et 2004.

Au niveau de la rivière Trois-Pistoles, les conséquences de l'eau turbide du Bonhomme-Morency restent inconnues. Aucune étude n'a montré les impacts de la forte concentration en sédiments fins provenant du ruisseau. Or, selon la MRC des Basques (2007) et l'Association Chasse & Pêche des Basques inc. (2004), la baisse des effectifs de populations d'ombles de fontaine et d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) est directement liée au détournement. La grande quantité de sédiments coulant jusque dans la rivière Trois-Pistoles (Figure 3.6) aurait influencé le succès reproducteur de ces deux espèces de poissons en colmatant les frayères (MRC des Basques 2007). Une forte concentration de gravier, transportée par la Bonhomme-Morency, aurait aussi causé le comblement de fosses dans la rivière Trois-Pistoles (Leblond 2012). En outre, les salmonidés et l'éperlan arc-en-ciel sont vulnérables à la dégradation des habitats (Newcombe & Jensen 1996).

Cependant, comme le suggère Bourassa (2005), de nombreuses perturbations survenues dans la rivière Trois-Pistoles pourraient aussi expliquer le déclin de ces populations, notamment par le rejet des eaux usées de source agricole, municipale et industrielle. L'auteur souligne qu'il y a eu une intensification de l'agriculture dans le bassin versant de la rivière Trois-Pistoles au cours du dernier siècle. De plus, les municipalités rejetaient leurs eaux usées non traitées dans les cours d'eau avant l'implantation des normes environnementales sur l'assainissement des eaux. Ces deux sources d'eaux usées peuvent accentuer la prolifération d'algues par le surenchérissement des eaux, contenir des contaminants toxiques et causer une dégradation de la qualité de l'eau et des habitats (Lenat 1988). Du côté industriel, les trois usines ayant été actives en bordure de la rivière Trois-Pistoles ont probablement eu une incidence sur la qualité de l'eau (Bourassa 2005). De 1888 à 1950, un important moulin à scie transformait le bois en bordure de la rivière Trois-Pistoles. Par la suite, une usine de transformation laitière prit la place du moulin de 1965 à 1993. Les eaux usées de cette usine étaient directement rejetées dans la rivière (Bourassa 2005). Tembec a ensuite racheté l'usine laitière pour la fabrication de résines phénoliques et aminiques en poudre et en liquide (OBVNEBSL 2011). Même si l'entreprise a adopté différentes stratégies pour réduire la pollution qu'elle engendrerait, le rejet des matières en suspension et des eaux usées dans l'environnement peuvent avoir un impact pour la rivière Trois-Pistoles (Bourassa 2005).

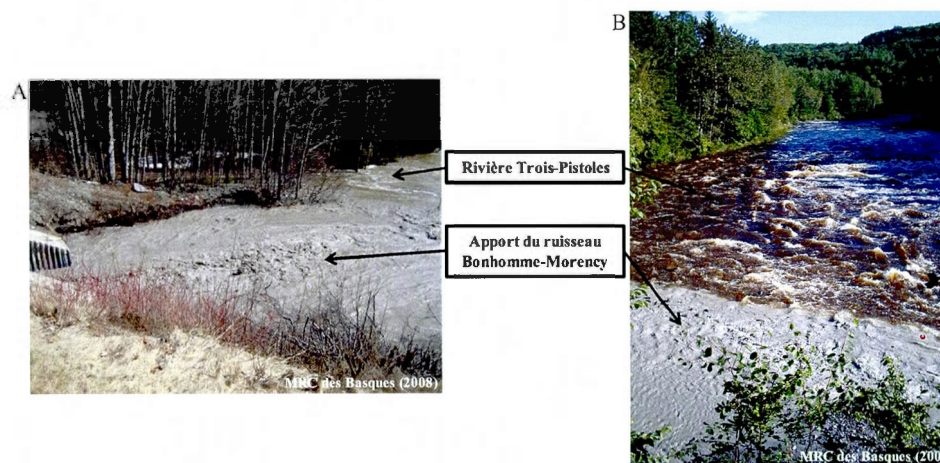


Figure 3.6 Photos illustrant l'eau fortement chargée en sédiments du ruisseau Bonhomme-Morency coulant dans la rivière Trois-Pistoles (A) en avril 2007 et (B) en septembre 2004

Une des causes du déclin de l'éperlan arc-en-ciel dans la rivière Trois-Pistoles pourrait être reliée un événement survenu en 1990. Mandatée par le *Canadien National*, l'entreprise *Entrepreneurs Clarke & compagnie* a utilisé des jets abrasifs pour nettoyer le pont ferroviaire traversant la rivière Trois-Pistoles, directement au-dessus de la frayère à éperlans (Leblond 2012). L'abrasion a entraîné de fortes concentrations de poussières et de résidus de peinture dans la rivière. Une autre activité ayant pu engendrer d'importantes conséquences sur la reproduction de l'éperlan est la forte pression de pêche de 1930 à 1950 qui avait lieu durant la période de fraie (Bourassa 2005). Depuis les années 90, aucune activité de reproduction n'a été recensée dans la rivière Trois-Pistoles. Cette baisse des populations d'éperlans est toutefois répandue sur toute la rive sud de l'estuaire depuis les années 60 (Bourassa 2005).

De nos jours, les lois environnementales sont beaucoup plus sévères et permettent de diminuer les sources de pollution anthropiques. Or, certaines sources de dégradation de la qualité de l'eau sont plus difficiles à prévoir et à contrôler. Par exemple, lors de la crue printanière de 1983, un glissement de terrain s'est produit sur la berge gauche de la rivière Trois-Pistoles à la hauteur du 2^e rang. Le glissement, évalué à 1 557 m³ de sédiments, a

entraîné une quantité élevée d'argile et de sable dans la rivière et a dévié l'écoulement dans un champ agricole sur la rive droite (Annexe D). Depuis, les versants de ce secteur sont toujours instables et contribuent à l'apport de sédiments dans la rivière. D'autant plus qu'un second glissement de terrain s'est produit en 2011 dans ce même secteur. Subséquemment, ces sources de sédiments auraient peut-être contribué au colmatage des frayères de la rivière Trois-Pistoles et entraîné la baisse des populations de poissons moins tolérants à une mauvaise qualité de l'eau. Néanmoins, il faut savoir que les fortes crues quinquennales ont pour effet de retirer les sédiments fins accumulés sur les lits des rivières graveleuses (Milhous 1998) et d'améliorer la qualité des habitats aquatiques (Osmundson *et al.* 2002). En raison du manque d'études et de suivis sur la rivière Trois-Pistoles, il est impossible de déterminer spécifiquement la ou les causes de déclin des espèces aquatiques. Cependant, il est possible que la combinaison de tous les événements présentés ci-haut ait eu un impact sur les populations.

3.1.3 Vers une stabilisation du cours d'eau Bonhomme-Morency

Plusieurs années ont passé avant que des travaux de nettoyage et de stabilisation soient entrepris dans le cours d'eau Bonhomme-Morency. C'est en 1994 que les premières interventions ont lieu lorsque le Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF) autorise la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges à extraire les arbres morts accumulés dans le chenal (Annexe B.4). Outre l'accumulation d'arbres morts, l'érosion excessive et la formation de chenaux secondaires limitent l'accès aux propriétés en périphérie du cours d'eau Bonhomme-Morency. Avec l'appui de la Municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et de la Ville de Trois-Pistoles, les propriétaires de ces terrains portent plainte auprès du MEF en 1998 (Annexes B.5 et B.6). L'année suivante, la direction régionale du ministère de l'Environnement inspecte le secteur du Bonhomme-Morency (Annexe B.7) et entreprend des travaux de redressement sur une longueur de cinquante mètres à l'amont du ponceau de la route du Sault (n.d. 2000). Dans ce même secteur, un enrochement de la berge droite est réalisé (calibre 400-500 mm). De plus, un pont en béton armé, pour la circulation des véhicules tout terrain et des motoneiges, est construit à environ cinq cents mètres en amont du ponceau de la route du Sault, dans le secteur de la conduite d'eau potable de Trois-Pistoles. Auparavant, un chemin traversait le cours d'eau à cet

endroit, mais une crue survenue après le détournement l'a détérioré (Leblond 2012). À l'été 2001, le ministère s'engage à étudier davantage la problématique des cours d'eau Renouf et Bonhomme-Morency afin de trouver une solution durable pour contrer les problèmes d'érosion (Annexe B.8). Il procède aussi à un second nettoyage de tous les débris ligneux pouvant nuire au libre écoulement de l'eau dans le ruisseau. Le nettoyage s'effectue sur une distance de 850 mètres et nécessite des coûts de 116 487 \$. Il importe de mentionner que le retrait de ces débris ligneux au lit a possiblement contribué à l'incision du chenal. En effet, une accumulation d'arbres au lit ralentit l'écoulement et crée des zones d'aggradation locale (Sear *et al.* 2010).

Au début des années 2000, M. Benoît Rheault, aménagiste à la MRC des Basques, constate l'ampleur des effets du détournement sur le Bonhomme-Morency (Leblond 2012, Rheault 2012). Il qualifie le cours d'eau de « dangereux, inimaginable et démesuré » (Rheault 2012). M. Rheault se joint à la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges pour augmenter les pressions auprès du gouvernement. Au printemps 2004, cette municipalité demande une fois de plus au ministère de l'Environnement qu'une nouvelle inspection du cours d'eau Bonhomme-Morency soit réalisée rapidement (Annexe B.9). En plus des problèmes d'érosion et d'incision, le ponceau de la route du Sault s'affaisse et s'avère risqué pour la sécurité routière. Ce ponceau avait été changé et adapté aux nouveaux débits des eaux détournées de la rivière Renouf à la fin des années 70. Toutefois, les grandes quantités de sédiments et de débris ligneux transportés vers la rivière Trois-Pistoles avaient accéléré l'usure du ponceau. À l'automne 2004, le CEHQ procède à l'exécution de nouveaux travaux de nettoyage et de stabilisation des berges, engendrant des coûts de 141 000\$ (CEHQ 2005). Trois zones sont enrochées : 1) la berge gauche de la zone en amont du ponceau de la route du Sault, 2) cinquante mètres en amont du pont de la conduite d'eau et 3) une zone où le décrochement des berges et l'érosion étaient très élevés, à environ 1,1 kilomètre en amont de l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles. Au printemps 2005, le CEHQ communique avec la MRC des Basques et la ville de Trois-Pistoles pour leur présenter deux solutions potentielles aux problèmes d'érosion dans le cours d'eau Bonhomme-Morency (CEHQ 2005):

A. Réalisation de travaux dans le cours d'eau Bonhomme-Morency et gestion révisée des ouvrages de dérivation

B. Retour à un régime d'écoulement naturel

La première option est basée sur la stabilisation du ruisseau Bonhomme-Morency par enrochement du lit et des berges sur une distance d'environ deux kilomètres (avec ou sans construction de seuils pour réduire la vitesse d'écoulement). Cette option suggère aussi de contrôler les digues en amont pour maîtriser les débits du Bonhomme-Morency en dehors des périodes de crues. Selon le CEHQ, l'empierrement est la méthode la plus appropriée pour stabiliser le lit et les berges argileuses de forte pente. Les coûts, s'évaluant à mille dollars par mètre linéaire, sont estimés à deux millions de dollars pour une protection complète du cours d'eau. Cette méthode a pour avantage de contrôler l'érosion du cours d'eau Bonhomme-Morency et d'intervenir dans un secteur isolé où peu de citoyens seraient affectés. De plus, cette méthode redonne au milieu la gestion de son territoire et de ses aménagements.

La deuxième solution est plutôt basée sur le retour des eaux détournées du cours d'eau Renouf dans son lit naturel, vers le centre-ville de Trois-Pistoles. Cela implique le démantèlement des ouvrages de dérivation de 1977 et la réalisation de seconds travaux pour éviter de nouvelles inondations dans la zone urbaine: remplacement des conduites fermées, reconstruction de nouveaux ponceaux et élargissement des deux tronçons du cours d'eau Renouf. Le démantèlement des ouvrages de dérivation exige de rétablir un profil naturel des terrains, de retirer les ponceaux et de rétablir l'écoulement naturel des fossés. Le cours d'eau Bonhomme-Morency requiert également des travaux de consolidation en stabilisant à certains endroits les berges et en ramenant le lit à une pente plus douce. Le coût total de ces interventions s'élève à quatre millions de dollars. Cette méthode a l'avantage de ramener les débits naturels dans les cours d'eau Renouf et Bonhomme-Morency. Toutefois, les coûts sont élevés et rien ne garantit la collaboration des riverains au centre-ville directement affectés par les travaux. Finalement, la MRC des Basques et la ville de Trois-Pistoles privilégient la méthode A visant à consolider seulement les berges et le lit du cours d'eau Bonhomme-Morency (Annexe B.10). Selon eux, la méthode B risque d'engendrer de nouvelles inondations au centre-ville et nécessite des coûts d'intervention très élevés.

Le CEHQ contacte la MRC des Basques en janvier 2008 pour les informer de l'avancement du projet de consolidation du cours d'eau Bonhomme-Morency (Annexe B.11). Le CEHQ avait mandaté en 2007 le Service de la Géotechnique et de la Géologie, Sections mouvements de terrain du MTQ, pour réaliser une étude préliminaire des travaux de stabilisation du cours d'eau Bonhomme-Morency (Bélanger *et al.* 2007). L'étude préliminaire visait à élaborer les directives techniques des différentes étapes menant à l'enrochement complet du cours d'eau et de réguler la pente du cours d'eau pour ralentir la vitesse d'écoulement (Bélanger *et al.* 2007). Les travaux consistaient à consolider les berges et le lit du cours d'eau par un enrochement, sur une distance de 2,2 kilomètres, à la hauteur du 2^e Rang Ouest jusqu'à la confluence avec la rivière Trois-Pistoles. L'enrochement inclut aussi un petit affluent du ruisseau Bonhomme-Morency et le canal de dérivation. Bélanger *et al.* (2007) réalisent un LIDAR aéroporté pour obtenir les informations topographiques visant à réaliser les plans d'aménagements (seules les données topographiques du tronçon ont été récupérées dans le cadre de ce projet). Avec ces données, ils établissent un profil en long et des profils en travers à tous les vingt mètres le long du cours d'eau (Annexe E.1). Le cours d'eau est segmenté en douze secteurs selon les particularités topographiques, géotechniques et hydrauliques des sections transversales. De cette manière, il est plus facile d'évaluer l'épaisseur des différentes couches d'enrochement et les endroits où l'excavation du lit est nécessaire pour assurer une pente longitudinale régulière (Annexes E.2 et E.3).

Le MTQ est aussi mandaté en 2008 pour effectuer une expertise hydraulique servant à évaluer la taille de l'enrochement. Ce ministère, couramment appelé à diriger des travaux similaires dans les cours d'eau longeant les axes routiers, possède les qualifications nécessaires pour remplir cette fonction sur le Bonhomme-Morency. L'expertise hydraulique est conçue selon le rapport de Kilgore & Cotton (2005) du Federal Highway Authority (Lavallée 2008). La procédure réside sur l'évaluation de la compétence maximale du cours d'eau, soit la taille maximale d'une particule que l'écoulement peut mobiliser (Church 2006). Les caractéristiques du bassin versant, la morphologie du chenal, la dynamique fluvioglacielle, l'apport sédimentaire provenant des versants, l'imbrication des blocs hétérogènes et non émoussés (davantage exposés aux forces de friction et d'entraînement), les changements de viscosité et de types d'écoulement ne sont pas étudiés dans l'expertise hydraulique. Lavallée (2008) utilise plutôt un facteur de sécurité ayant pour objectif de

compenser l'absence de ces variables dans ces calculs tout en assurant la stabilité de l'enrochement.

En juin 2008, le CEHQ lance un appel d'offres pour la conception des plans et devis de l'aménagement auprès des firmes d'ingénierie. La firme AECOM, (anciennement sous le nom de Tescult), reçoit le contrat et conçoit les plans et devis à partir des documents émis par le MTQ (Goyette 2011). Pour permettre l'exécution des travaux, un certificat d'autorisation est demandé aux divisions régionales du Ministère de Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et au Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) à l'été 2008 (Bouffard 2008). Le projet s'avère conforme à la *Loi sur la Qualité de l'environnement*. (L.R.Q., c. Q-2, article 22) du MDDEP et à la *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune* (L.R.Q., c. C-61.1, article 128.7) du MRNF (Forget 2012). AECOM lance un appel d'offres pour contracter une firme d'entrepreneurs s'engageant à effectuer les travaux de consolidation du cours d'eau (Mercier & Goyette 2008). L'entreprise *Gervais Dubé inc.*, située à Trois-Pistoles, obtient le contrat.

C'est en janvier 2009 que les travaux de consolidation du cours d'eau Bonhomme-Morency débutent (Goyette 2011). Il y a déboisement des berges et collecte des débris ligneux le long du chenal (Figure 3.7A). Aucun élargissement du cours d'eau n'est effectué et aucun enrochement n'est fait dans le secteur déjà enroché en aval et dans celui constitué d'un affleurement rocheux (Annexe E.1). Par la suite, l'excavation et le remblayage ont lieu (Figures 3.7B-C). L'excavation se fait aux endroits où l'altitude du lit projeté dans les plans est égale ou plus basse à celui du lit naturel (Annexe E.2). L'enrochement se réalise en trois couches : 1) une couche de tout-venant (0-600 mm) pour le remblayage et la circulation des poids lourds dans le lit (Figure 3.7B), 2) une couche sous-jacente au revêtement de protection (0-200 mm) et 3) une couche pour le revêtement de protection (200-600 mm) (Figure 3.7D et Annexe E.3). La mise en place des pierres se fait de façon à ce qu'elles soient enchâssées et serrées les unes contre les autres pour assurer une meilleure stabilisation (Bélanger *et al.* 2007).

Les travaux se déroulent sans contraintes environnementales majeures et se terminent en mars 2009 avant les crues printanières. L'enrochement du cours d'eau Bonhomme-Morency nécessite dix mille voyages de camions et un coût total de 3 200 000 M\$. La renaturalisation des accès se fait au printemps 2009.

La figure 3.8 présente une ligne du temps résumant les différentes étapes qui ont mené à l'état actuel du cours d'eau. Elle souligne l'aspect réactif des décisions prises dans l'aménagement des cours d'eau et la longueur des processus pour la mise en œuvre des actions (du constat à l'action sur le terrain). La ligne du temps fait aussi référence à la trajectoire morphologique. Elle montre les conséquences des décisions sociopolitiques et des actions réactives sur la dynamique du cours d'eau (ajustements, formes et processus).



Figure 3.7 Photos des différentes étapes des travaux d'enrochement du cours d'eau Bonhomme-Morency : nettoyage du lit et des berges (A), couche de tout-venant (B), excavation du lit (C) et couche de protection (D).

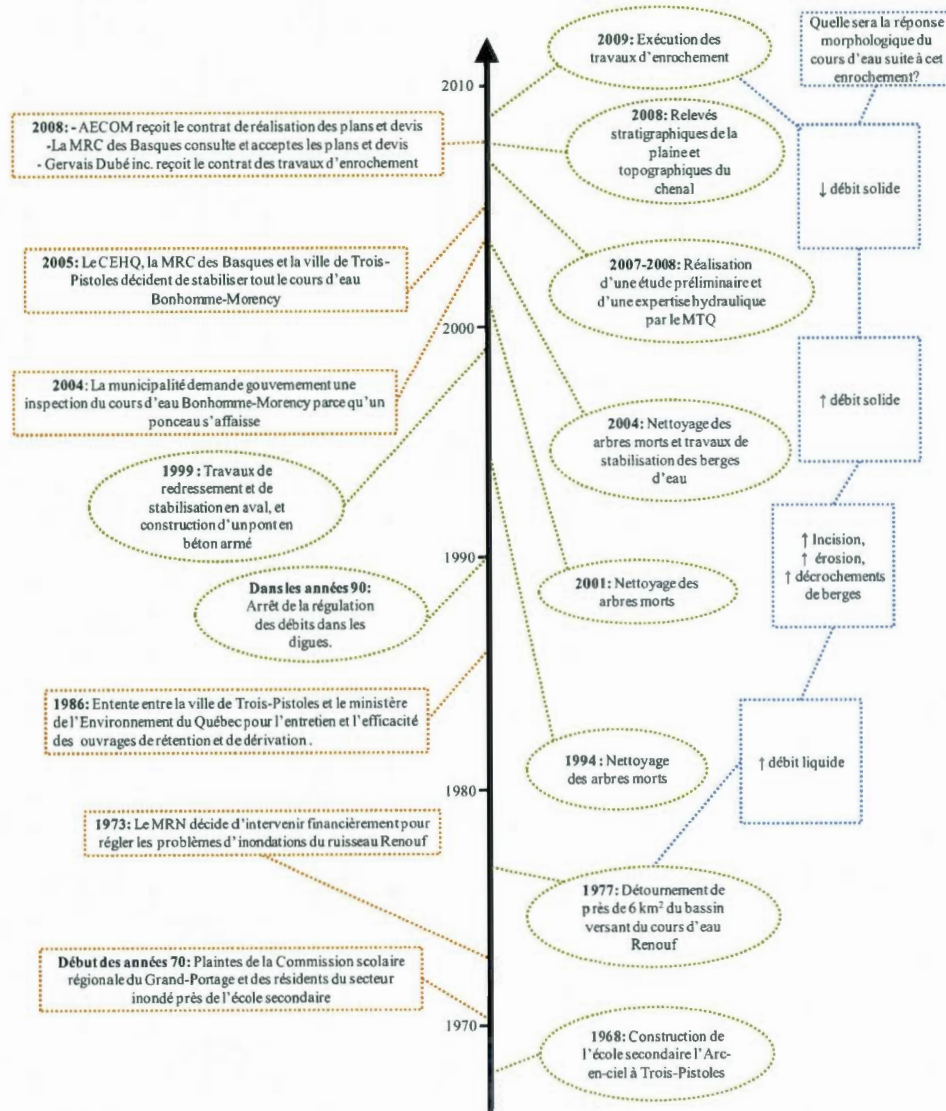


Figure 3.8 Ligne du temps résumant l'histoire des cours Bonhomme-Morency et Renouf depuis 1968. Les consultations, les décisions et les pressions politiques concernant les cours d'eau sont inscrites dans les encadrés orangés, les interventions sont présentées dans les encadrés verts et les processus morphologiques provoqués par les interventions sont illustrés dans les encadrés bleus.

3.1.4 Réflexions sur l'historique et sur l'évolution du cours d'eau

L'enrochement et la renaturalisation des voies d'accès terminés, les gestionnaires ne prévoient plus intervenir dans le ruisseau Bonhomme-Morency. Le cours d'eau, transformé en un canal de pierres, transporte beaucoup moins de sédiments (Figure 3.9). Il doit se redonner lui-même, par l'action des processus géomorphologiques, une apparence plus naturelle (Goyette 2011). Dans les plans d'aménagements, la morphologie des berges enrochées a été prévue pour favoriser la chute des cailloux dans le lit du cours d'eau et ainsi augmenter les chances de colmatage du lit et l'écoulement permanent en surface. Selon M. Goyette de la firme AECOM, le cours d'eau aurait subi quelques changements depuis 2009. L'enrochement se serait affaissé et les pierres se seraient davantage imbriquées les unes dans les autres. M. Goyette ne croit cependant pas à une future instabilité de l'enrochement puisque l'aménagement a été conçu pour résister aux crues centennales. M. Lavoie, du CEHQ, est du même avis. L'aménagement a permis de limiter l'érosion, de renforcer les talus et de diminuer la perte de superficie cultivable (Lavoie 2013). M. Lavoie n'a aucune prédiction sur l'évolution du cours d'eau. Mme Forget, analyste du secteur hydrique et humide au Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, n'a également pas d'appréhension face à l'aménagement, à l'exception de voir les versants s'équilibrer dans la prochaine décennie. M. Rheault, aménagiste à la MRC des Basques, est satisfait de l'intervention de 2009 puisque l'eau de la rivière Trois-Pistoles reçoit beaucoup moins de sédiments et la qualité de ses habitats risque d'être meilleure (Rheault 2012). Du côté de M. Leblond, ancien maire de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et préfet de la MRC des Basques, il aurait souhaité qu'un approvisionnement en gravier soit effectué pour augmenter le colmatage et favoriser la réhabilitation du cours d'eau (Leblond 2012). En effet, ni la réhabilitation du cours d'eau, ni l'esthétisme de l'aménagement n'ont été des critères envisagés pour stabiliser le ruisseau Bonhomme-Morency (Goyette 2011). M. Goyette décrit même l'aménagement comme une cicatrice dans la nature.

Selon les personnes interviewées, la restauration du cours d'eau n'aurait pu se faire qu'en ramenant les eaux détournées dans le ruisseau Renouf. Cette solution aurait été plus écologique, mais elle aurait nécessité de grandes modifications en zone urbaine et des coûts

élevés. Ainsi, M. Goyette et M. Lavoie croient que l'enrochement majeur était la seule option pour stabiliser le cours d'eau. Selon M. Rheault, il aurait été trop coûteux d'étudier les composantes géomorphologiques du cours d'eau et de choisir des méthodes d'aménagements moins drastiques.

Du côté de Mme Claudine Forget, les aménagements en rivière sont vus d'un regard différent (Forget 2012). Elle a acquis depuis les dernières années de nouvelles connaissances sur la dynamique et la géomorphologie fluviale. Mme Forget souhaite que la gestion des cours d'eau s'améliore avec la sensibilisation de cette nouvelle science au Québec et que la société ait une vision plus large de l'impact des interventions sur la dynamique fluviale. Elle croit aussi en l'importance de laisser évoluer les cours d'eau dans leur espace de liberté. La société a toujours favorisé les choix économiques, la protection des riverains et la gestion de crise, ce qui est parfaitement compréhensible selon Mme Forget. Il est en effet facile de critiquer les interventions majeures. Or, elles sont souvent intimement liées aux mauvaises décisions du passé, comme dans le cas du cours d'eau Bonhomme-Morency (Forget 2012).

A



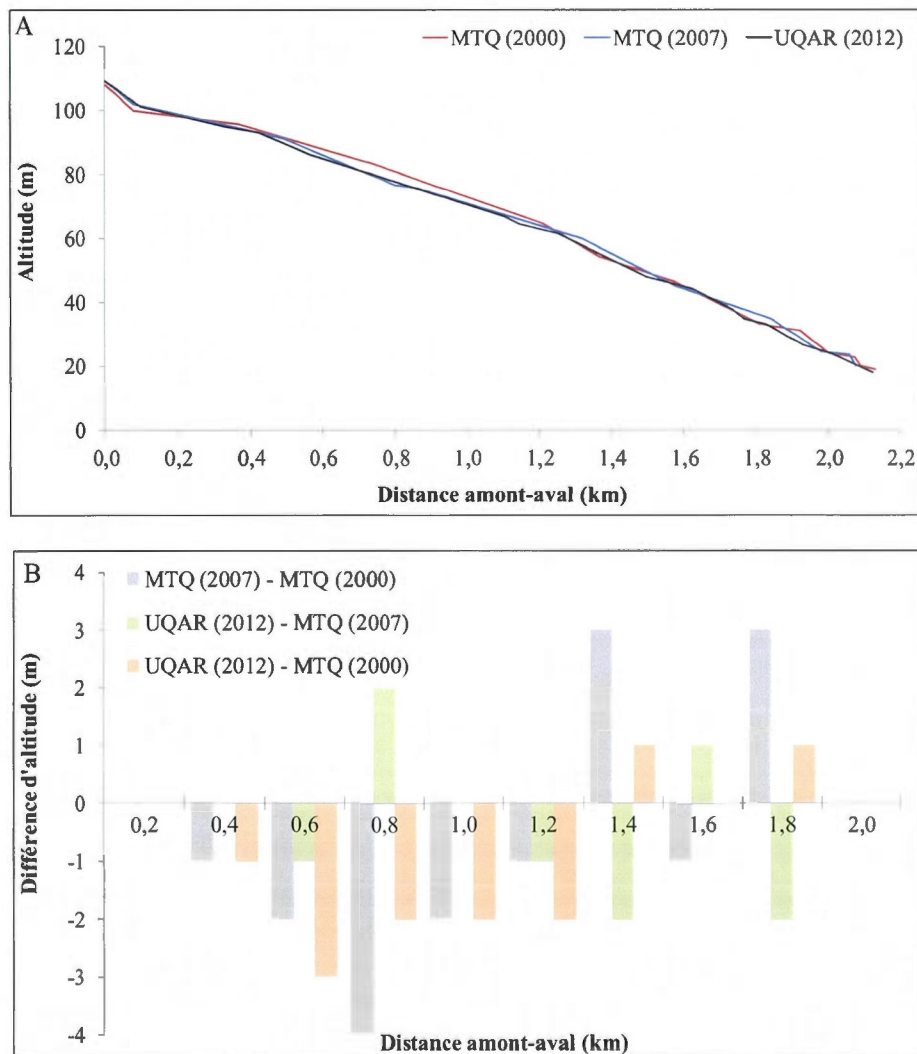


Figure 3.9 Photos du canal enroché à l'été 2010 (A) et de la confluence avec la rivière Trois-Pistoles au printemps 2011 (B).

3.2 Paramètres hydrauliques et hydrologiques

En comparant les profils en long des années 2000, 2007 et 2012, des différences de hauteur au lit sont observées à certains endroits (Figure 3.10). Les hauteurs de lit étant plus élevées à l'année 2000, suivies de l'année 2007, sont situées à 0,6 km et à 1,2 km respectivement (Figures 3.10A-B). L'altitude du lit enroché mesurée en 2012 est donc la plus faible selon les résultats. Les hauteurs de lit plus élevées en 2000, suivies de l'année 2012, sont situées à une distance de 0,8 km et 1,6 km. À l'opposé, les secteurs possédant des hauteurs de lit plus grandes en 2007, et ensuite en 2012, sont situés à des distances de 1,4 km et de 1,8 km. Pour les secteurs à 0,4 km et à 1,0 km, l'altitude du lit est plus élevée en 2007 qu'en 2000, mais ne diffère pas avec 2012. Finalement, pour les secteurs à 0,2 km et 2,0 km de la figure 3.10B, il n'y a pas de différence d'altitude entre les trois années. Toutefois, sur la figure 3.10A, on remarque en aval une succession de zones d'érosion et de zones d'accumulation pour les profils de 2000 et 2007 (de 1,8 km jusqu'à la fin). En 2012, ce secteur possède un profil plutôt lisse.

Au niveau de la pente, les valeurs de l'année 2000 semblent plus régulières que celles en 2007 et en 2012 (Figure 3.10C). La pente devient graduellement plus abrupte vers l'aval, à l'exception des deux dernières valeurs (1,8 km et 2,0 km) où elle devient raide plus rapidement. Pour le secteur amont, la pente est plus abrupte en 2007 et en 2012. En moyenne, la pente mesurée en 2000 est de 4% et celles mesurées en 2007 et 2012 est de 5%. Il est à noter que l'interprétation des données est faite en incluant les erreurs de mesures des trois profils.



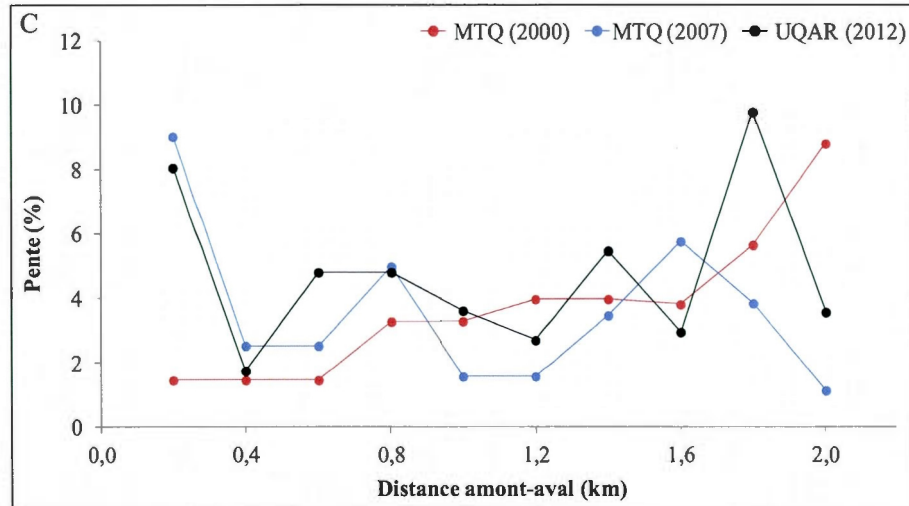


Figure 3.10 Profils en long (A), différences d'altitude entre les années (B) et pentes (C) extraits des relevés mesurés par le MTQ en 2000 et en 2007 et par l'UQAR en 2012. Les données considèrent le secteur débutant dans les cent derniers mètres du canal de dérivation et se terminant à l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles.

Au niveau de la réponse hydrologique, les plus grandes hauteurs d'eau, liées aux pics de crues printanières, n'ont pu être enregistrées par les senseurs de pression. Une forte accumulation de neige, et parfois une trop grande quantité d'eau dans le chenal, a rendu inaccessibles les stations de jaugeage. De plus, les senseurs de pression Hobo se sont avérés à deux reprises défectueux causant l'arrêt des mesures : 1) dans la station aval au printemps 2012 et 2) dans la station amont à l'été et l'automne 2012. Toutes ces périodes où les senseurs n'ont pas fonctionné correspondent aux zones sans données dans la figure 3.11. Dans cette figure, la hauteur d'eau a augmenté très rapidement à quelques reprises en décembre 2011, donnant l'impression que des crues s'y sont produites. Or, ces pics de hauteurs d'eau sont présents que dans une station de jaugeage à la fois. Aucune crue n'a eu lieu durant ces périodes selon les photos prises par les caméras Reconyx. La glace pourrait expliquer ce phénomène où elle aurait créé une augmentation rapide du volume dans la colonne d'eau. Finalement, il est difficile d'arriver à une bonne interprétation de la réponse hydrologique du cours d'eau Bonhomme-Morency avec ce manque de données. Il est

nécessaire de combiner l'interprétation des données avec les images obtenues par les caméras Reconyx. Selon les images prises de mars à novembre 2011, il faut un minimum de 0,45 m d'eau dans la station aval et 0,09 m d'eau dans la station amont pour que l'eau soit visible à la surface de tout le tronçon enroché. Cependant, on ne peut pas appliquer cette relation aux hauteurs d'eau prises de mars à mai 2012, car la hauteur d'eau dans la station amont est toujours supérieure à 0,09 m. Selon les photos, l'eau s'est majoritairement écoulee à la surface du lit entre le 18 et 22 mars 2012 (Figure 3.12), le 24 et 27 avril 2012 et le 8 mai 2012. Par conséquent, la hauteur d'eau dans la station amont de mars à mai 2012 ne peut être mise en relation avec celles de mars à novembre 2011.

Avec les photos prises par les caméras, les crues printanières ont pu être examinées dans le cours d'eau au moment où l'eau était visible à la surface de l'enrochement. Les images de la figure 3.13 illustrent bien une crue typique du cours d'eau Bonhomme-Morency. L'eau ne reste jamais en surface plus de 48 heures dans tout le tronçon. De plus, les images de caméras ont montré que l'eau peut revenir en surface fréquemment au cours d'une journée ou d'une semaine, donnant l'impression que l'écoulement réagit en battement. En effet, en seulement quelques heures, l'eau peut monter à la surface des pierres, redescendre, à nouveau remonter, et ainsi de suite. En crue, ce cycle peut se reproduire plusieurs fois quotidiennement.

Aucune débâcle n'a été observée sur les images des caméras durant les deux années de suivi. La neige fond graduellement à mesure que l'eau remonte en surface (Figure 3.13). De ce fait, il est difficile d'évaluer l'impact des glaces sur le transport sédimentaire pour la période d'étude. Il est toutefois possible de croire qu'en période de dégel, la quantité d'eau s'écoulant dans le chenal enroché a possiblement eu un effet sur la dynamique de transport et la stabilité de l'enrochement. Un second phénomène intéressant observé dans les photos prises par les caméras est l'apparition de décrochements argileux et de coulées boueuses au printemps sur un versant du cours d'eau (Figure 3.14). Ces observations confirment l'apport sédimentaire des versants dans le chenal, majoritairement composé de sédiments fins.

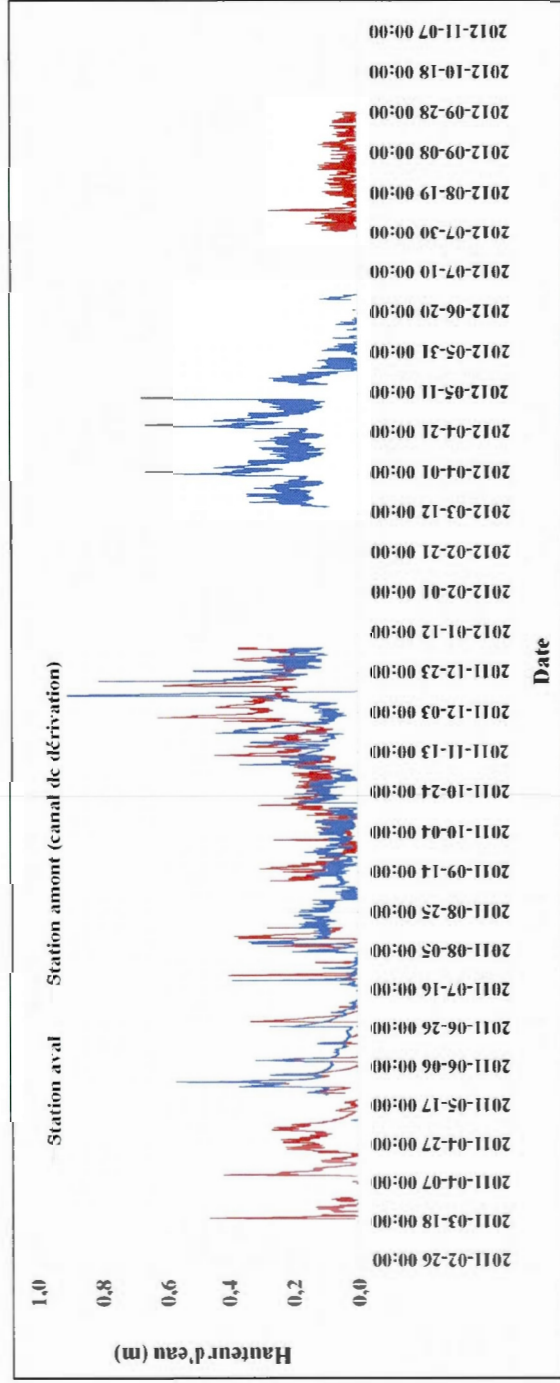


Figure 3.11 Hauteurs d'eau mesurées dans la station de jaugeage aval (rouge) et amont (bleu) au cours de l'étude. Les endroits sans données correspondent aux périodes de gel ou de bris d'instruments.

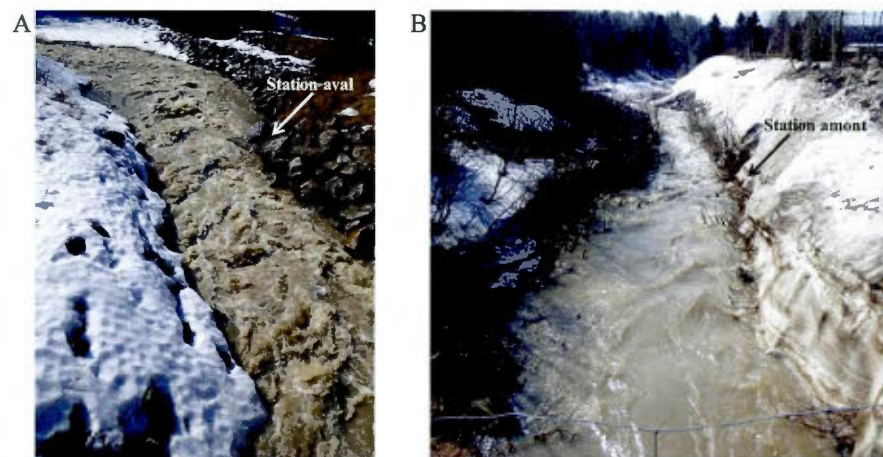


Figure 3.12 Photos prises le 21 mars 2012 lors de la crue printanière à la station de jaugeage aval (A) et amont (B).

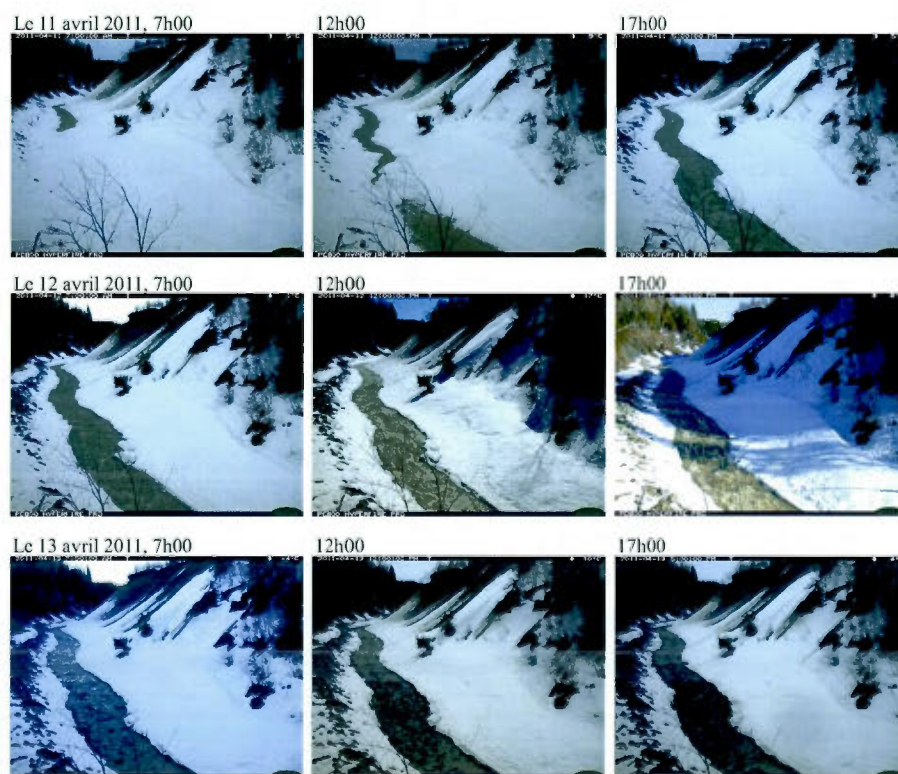


Figure 3.13 Crue printanière du 11 avril au 13 avril 2011.

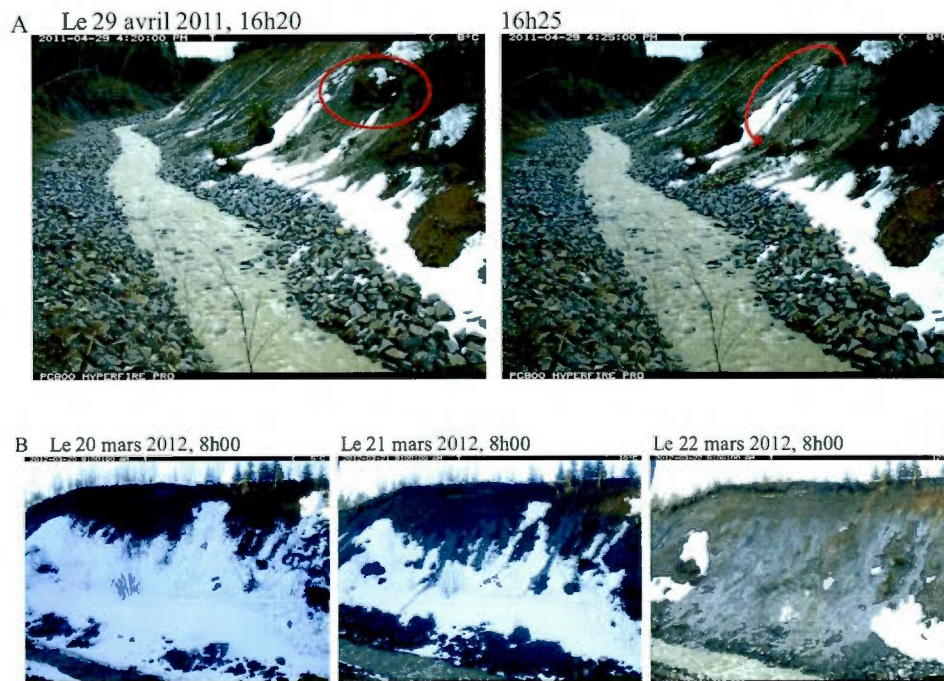


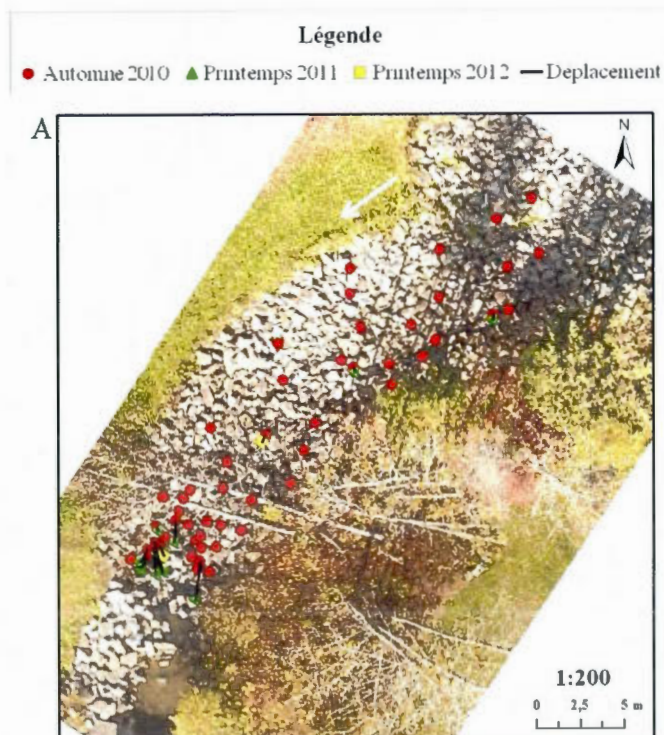
Figure 3.14 (A) Décrochement argileux au printemps 2011 et (B) coulées boueuses au printemps 2012 sur un versant longeant le cours d'eau Bonhomme-Morency.

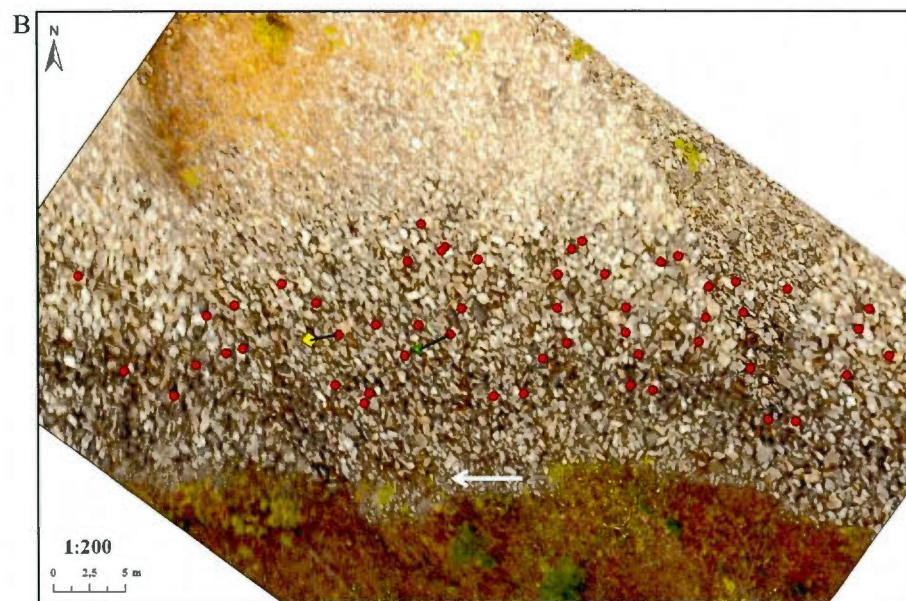
3.3 Stabilité de l'enrochement

La figure 3.15 présente les positions initiales et finales des 306 traceurs dans les trois secteurs retenus pour l'analyse de stabilité. Les déplacements ont été peu nombreux durant la période d'étude. Ils ont été davantage observés dans le secteur 1, complètement à l'aval du canal enroché. Onze traceurs, sur un total de cinquante-trois, se sont déplacés au cours de l'étude (Figure 3.15A). Dix traceurs ont été mobilisés de l'automne 2010 au printemps 2011 et deux traceurs entre le printemps 2011 et le printemps 2012. La distance moyenne parcourue pour les douze pierres déplacées était de 0,9 m, pour un minimum de 0,5 m et un maximum de 1,8 m. La longueur moyenne de leur axe B correspondait à 33,8 cm. La pente du secteur 1 était de 5%.

Dans le secteur 2, seulement un traceur, sur un total de cinquante-trois, a été mobilisé, et ce, sur une distance de 2,1 m au cours de la première période d'échantillonnage (Figure 3.15B). Un second traceur a été déplacé entre les printemps 2011 et 2012 sur une distance de 1,9 m. La première pierre déplacée avait un axe B d'une longueur de 18 cm et la seconde, de 50 cm. La pente du secteur 2 était de 3%.

Dans le secteur 3A, un traceur a été déplacé et il a parcouru une distance de 1,4 m entre l'automne 2010 et le printemps 2011. Il possédait un axe B de 23 cm et s'est mobilisé sur une pente de 4 % (Figure 3.15C). Dans le secteur 3B, trois traceurs ont été mobilisés durant cette même période (Figure 3.15D). Leur distance moyenne de déplacement était de 0,8 m, pour un minimum de 0,7 m et un maximum de 0,9 m. L'axe B moyen de ces trois blocs s'élevait à 33,3 cm et la pente du secteur 3B était aussi de 4 %. L'échantillon contenait 123 traceurs dans le secteur 3A et 77 dans le secteur 3B. Aucun déplacement des pierres n'a été mesuré durant la deuxième campagne au printemps 2012.





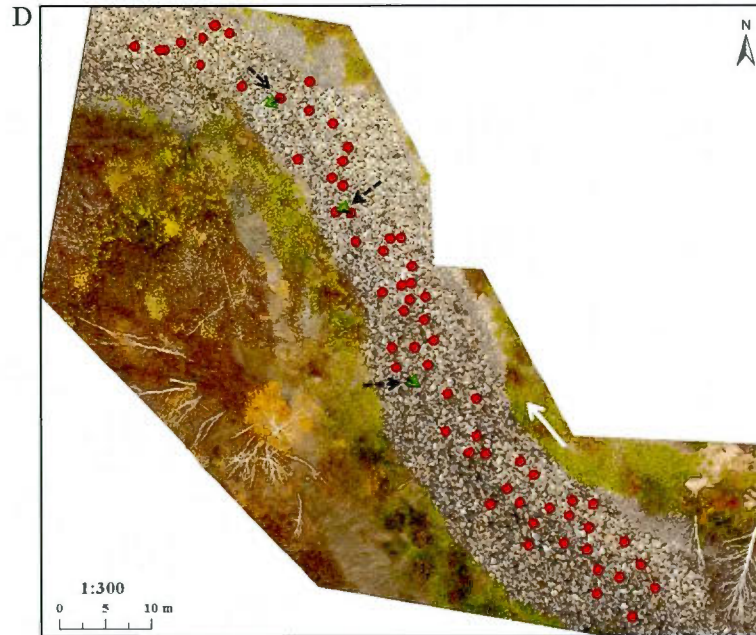


Figure 3.15 Pierres de l'enrochement contenant des traceurs dans le secteur 1 (A), le secteur 2 (B), le secteur 3A (C) et le secteur 3B (D). Les pierres illustrées par un triangle vert ont été mobilisées entre l'automne 2010 et le printemps 2011 et celles présentées par un carré jaune ont été mobilisées entre les printemps 2011 et 2012. Les lignes noires illustrent la trajectoire de déplacement des traceurs, les flèches noires indiquent un traceur mobilisé et les lignes blanches montrent le sens de l'écoulement. Les photos aériennes ne couvrent pas entièrement le secteur 3A ce qui explique l'absence de photos dans la partie aval du secteur enroché de la figure 3.15C.

3.4 Évolution du colmatage

La figure 3.16 illustre les profils de surface et de profondeur des onze sections transversales étudiées lors du suivi. Peu de changements apparaissent au niveau des profils de surface. Dans les sections S1, S7, S8, S9, S10, S11 et S12, quelques pierres en surface semblent avoir été mobilisées ou enterrées sous de nouvelles. Pour les profils en profondeur, les changements sont plus marqués. Dans les sections S1, S3, S6, S7, S8, S9, S10 et S11, les profils en profondeur entre 2010 et 2012 semblent différés par une augmentation ou une

diminution du colmatage. En considérant les incertitudes cumulées par les instruments de mesure à la figure 3.17, seulement les sections S1, S3, S6, S7, S9, et S10 présentent des changements dans la profondeur des interstices entre 2010 et 2012. Les sections S1, S3, S7, S9, et S10 suggèrent un colmatage marqué alors que des sédiments se sont accumulés dans les interstices entre les pierres de l'enrochement. À l'opposé, la section S6 suggère un surcreusement alors que des cailloux à l'intérieur de l'enrochement se seraient déplacés avec l'écoulement. La section S7 est celle ayant une différence de profondeur entre 2010 et 2012 la plus élevée. Cette dernière est située dans la zone la plus instable du cours d'eau, plus précisément entre les deux zones de colmatage élevé 2 et 3 (Figure 2.4A) où l'érosion des versants semble être une source de sédiments dans le chenal enroché. La section transversale S3 possède une forme différente des autres sections étudiées (Figure 3.16). Elle est étroite et peu profonde. Elle est située en aval de l'affleurement rocheux où aucun enrochement n'y a jamais été aménagé. La section S3 est aussi située à quelques mètres en amont de la zone de colmatage élevé 1 (Figure 2.4A). La section S3 est donc située dans une zone où une grande quantité de sédiments s'accumulent et colmatent le lit.

Bien qu'aucune courbe de tarage n'ait été construite, il fut possible d'extraire des valeurs de débit grâce aux variables physiques relevées sur le terrain (pente, profondeur, largeur des sections transversales). De la sorte, la contrainte de cisaillement au lit et la puissance spécifique dans chaque section transversale ont été calculées (Figure 3.18). Selon les résultats, il n'existe pas de tendance de l'amont vers l'aval pour ces deux paramètres ($R^2 = [0,06-0,18]$). On remarque toutefois que les valeurs de contraintes de cisaillement les plus faibles pour les quatre débits se retrouvent dans la section S3, la section la plus étroite et la moins profonde. À l'opposé, les valeurs les plus élevées se retrouvent dans la section la plus en amont (S11) suivie de près par la section S6. Pour la puissance spécifique, les plus faibles valeurs sont obtenues dans la section S2 pour les trois plus hauts débits. Pour ces mêmes débits, les valeurs les plus élevées sont retrouvées dans la section S4, ensuite dans les sections S11 et S1. À plus faible débit, la puissance spécifique est plus grande dans les sections S11 et S6, mais plus faible dans les sections S3 et S10.

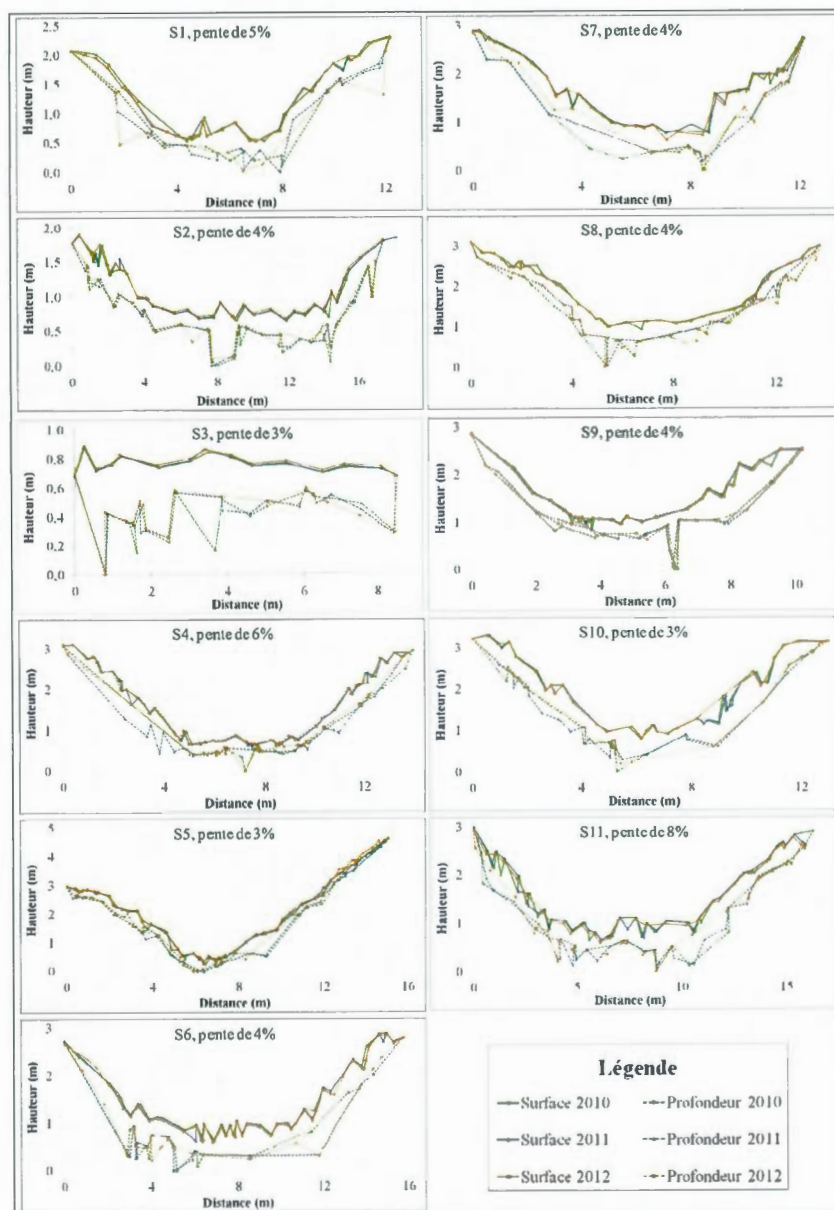


Figure 3.16 Profil des onze sections transversales sur trois saisons de suivi : automne 2010 (vert), printemps 2011 (bleu), printemps 2012 (orange). Les lignes pleines représentent le profil des pierres en surface et les lignes pointillées évoquent le profil des pierres en profondeur.

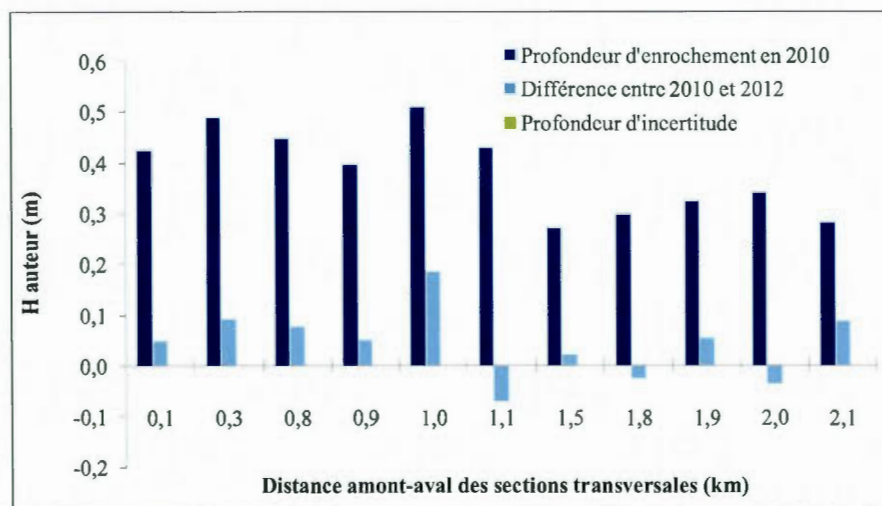


Figure 3.17 Évolution du colmatage des sections transversales au cours des trois saisons de suivi. La profondeur d'engrochement (moyenne de la hauteur du profil de profondeur – moyenne de la hauteur du profil de surface) mesurée à la campagne 2010 (bleu foncé) et l'incertitude liée aux mesures sur le terrain (vert) sont aussi illustrées dans la figure. La différence d'engrochement entre 2010 et 2012 (bleu pâle) a été calculée par la différence de la profondeur d'engrochement en 2010 et de celle en 2012. Une valeur positive signifie une augmentation du colmatage.

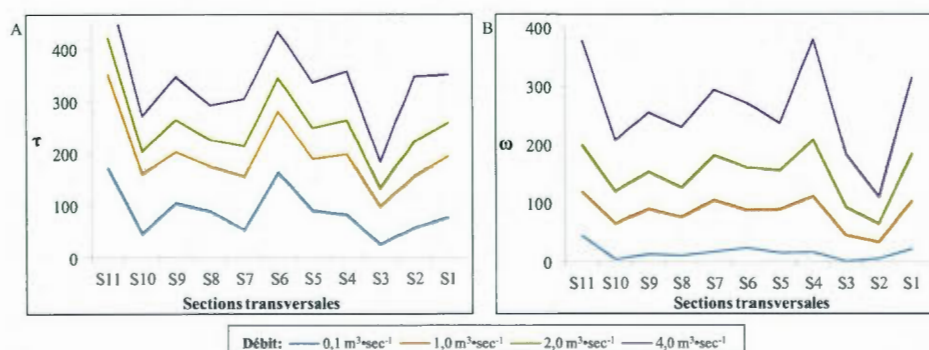
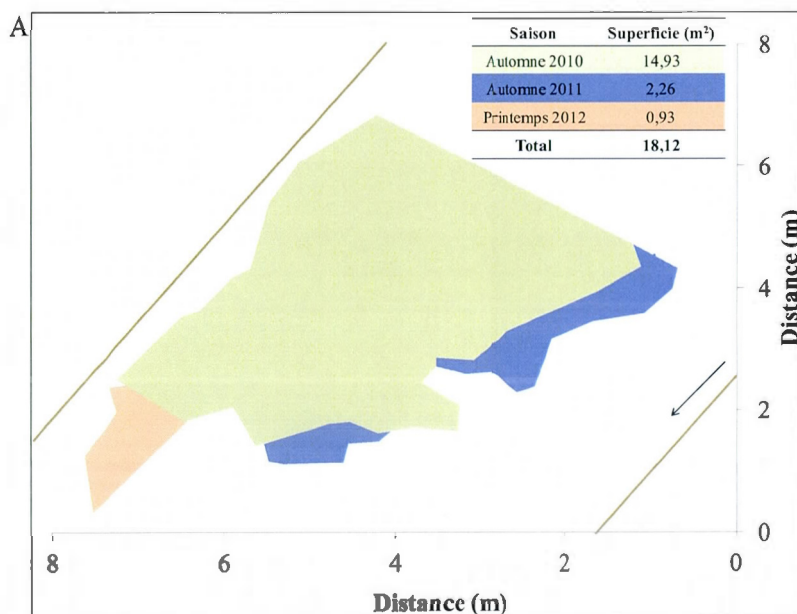


Figure 3.18 (A) Contrainte de cisaillement ($N \cdot m^{-2}$) et (B) puissance spécifique ($W \cdot m^{-2}$) calculées dans les onze sections transversales de l'étude, de l'amont vers l'aval. Les valeurs sont associées à quatre débits différents : $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (bleu), $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (orange), $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (vert) et $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ (violet).

Les zones de colmatage élevé ont subi une augmentation de leur arc de colmatage au cours des trois saisons de suivi (Figure 3.19). La zone 1, contrairement aux zones 2 et 3, est située au centre du chenal dans une rupture de pente. L'expansion du colmatage s'est faite vers la berge gauche à l'automne 2011 en augmentant sa superficie de 2,26 m² (Figure 3.19A). Au printemps 2012, le comblement des interstices s'est plutôt étendu de 0,93 m² vers l'aval. Les zones 2 et 3 sont situées au pied de la grande paroi argileuse en érosion. La forme de la zone 2 était initialement allongée à l'automne 2010 et couvrait une superficie de 21,14 m² (Figure 3.19B). L'année suivante, l'arc de colmatage s'est étendu de 25,40 m² vers le centre du chenal. Au printemps 2012, la zone a pris 4,07 m² d'expansion sur deux nouvelles parties. La zone 3, de forme moins allongée, prend plutôt de l'expansion vers le centre du chenal à l'automne 2010 et 2011, avec respectivement 48,28 m² et 14,05 m² d'augmentation (Figure 3.19C). Au printemps 2012, un appendice de 9,12 m² est formé dans la partie amont de la zone 3. Il importe de mentionner que le colmatage en profondeur n'a pas été étudié dans cette dans ces zones.



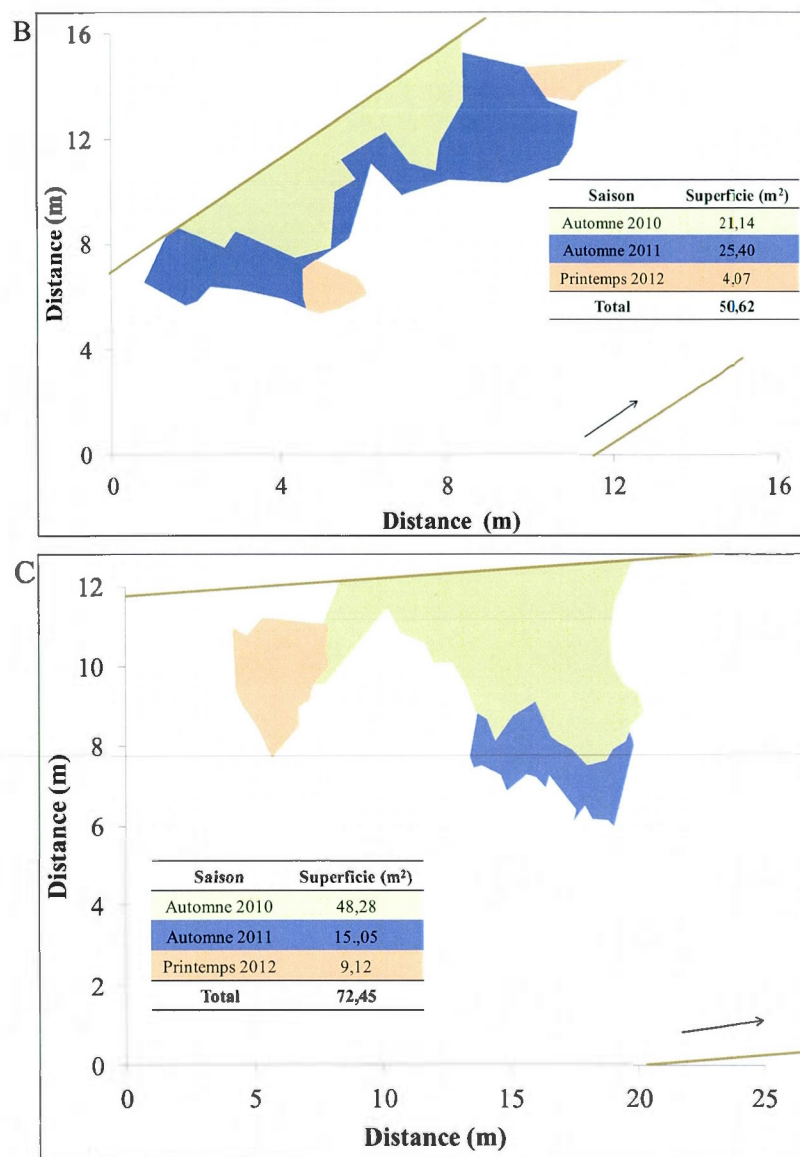


Figure 3.19 Évolution des zones de colmatage élevé de l'automne 2010 (vert), de l'automne 2011 (bleu) et du printemps 2012 (orange): A) Zone 1, B) Zone 2 et C) Zone 3. La flèche noire indique le sens de l'écoulement et les lignes grises illustrent la position des berges. Les tableaux indiquent l'augmentation de superficies colmatées pour les trois saisons.

Selon la figure 3.20, un recul du versant a été repéré sur toutes les bornes d'érosion, à l'exception des bornes B1 et B7. Pour plusieurs d'entre elles, l'érosion s'est davantage déroulée entre l'automne 2010 et le printemps 2011 : B2, B3, B5, B6, B8, B9, B12, B13, B14, B17 et B19. Pour les bornes B4, B15 et B22, un plus grand recul s'est effectué entre l'automne 2011 et le printemps 2012 (correspondant au recul entre l'automne 2010 et le printemps 2012 dans la figure 3.20). Le plus grand recul a eu lieu à la borne B15 avec une perte de terrain de 5,7 m. Cette borne est face à la caméra Reconyx installée pour recueillir des images de la dynamique du versant. Ses images montrent effectivement l'apparition de coulées boueuses à l'hiver et au printemps, lorsque le climat se réchauffe en journée. Par rapport à l'automne 2010, le recul du versant est en moyenne de 0,6 m ($\text{ÉT} = 0,7$) au printemps 2011, de 0,7 m ($\text{ÉT} = 0,8$) à l'automne 2011 et de 1,3 m ($\text{ÉT} = 1,5$) au printemps 2012.

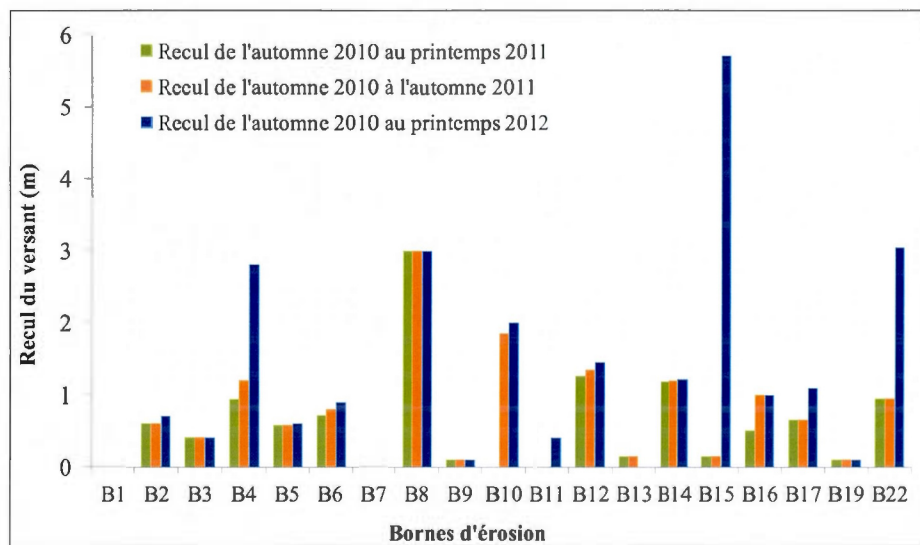


Figure 3.20 Recul du versant (m) mesuré par des bornes d'érosion au printemps 2011 (vert), à l'automne 2011 (orange) et au printemps 2012 (bleu). Les distances de recul étaient toutes comparées aux distances mesurées à l'automne 2010.

3.5 Évaluation de la qualité des habitats

Pour évaluer la qualité des habitats du cours d'eau Bonhomme-Morency, plusieurs indices ont été calculés à chacune des stations (Tableau 3.1). Les résultats de l'indice multimétrique, englobant plusieurs de ces indices, sont illustrés à la figure 3.21. Chaque station d'échantillonnage est présentée selon les résultats de ces indices.

Pour la station MI1, située dans la partie aval du cours d'eau, beaucoup plus de macroinvertébrés benthiques ont été échantillonnés au printemps 2011 que durant les deux autres saisons (Tableau 3.1). Le taxon dominant à l'automne 2011 est le taxon des chironomides, tandis qu'à l'automne 2010 et au printemps 2011, est celui des EPT. L'indice de Shannon, basé sur l'abondance relative d'organismes dans un échantillon, est plus élevé à l'automne 2011 qu'aux deux saisons d'échantillonnage précédentes. L'indice biotique d'Hilsenhoff, mesurant le degré de pollution organique, donne une bonne évaluation à l'automne 2010 et une moyenne évaluation au printemps et à l'automne 2011. L'IQH indique une qualité marginale des habitats pour les deux premiers échantillons et pauvre pour le troisième. L'indice multimétrique est similaire à l'IQH en donnant un état de santé marginal pour les trois saisons (Figure 3.21).

Logée dans un affleurement rocheux, la station MI2 possède des échantillons de plus grande taille qu'à la station précédente (Tableau 3.1). Le taxon dominant à l'automne 2010 et 2011 est le taxon des EPT. Au printemps 2011, la dominance est auprès des chironomides où peu de taxons intolérants n'ont été échantillonnés. L'indice de Shannon est plus élevé à l'automne 2010 qu'aux deux saisons suivantes. La station MI2 obtient un excellent indice d'Hilsenhoff à l'automne 2010 et 2011, mais au printemps 2011, cet indice chute à très mauvais. L'IQH est qualifié de sous-optimal pour les trois échantillonnages. L'indice multimétrique pour la station MI2 est optimal à l'automne 2010, pauvre au printemps 2011 et sous-optimal pour l'automne 2011 (Figure 3.21).

Dans la station MI3, située dans le petit tributaire du cours d'eau Bonhomme-Morency, une plus grande proportion de macroinvertébrés benthiques a été prélevée à l'automne 2011 (Tableau 3.1). Néanmoins, la composition des échantillons est similaire d'une saison à l'autre. L'abondance relative du taxon dominant est semblable pour les trois saisons, entre 25 et 40 %. De plus, les trois échantillons possèdent une plus grande quantité

d'EPT que de chironomides. L'indice d'Hilsenhoff, l'indice de diversité de Shannon, l'IQH et l'indice multimétrique donnent de bons résultats pour les trois saisons (Figure 3.21).

Dans le cours d'eau Renouf, la station MI4 a été échantillonnée seulement au printemps et à l'automne 2011 et environ une cinquantaine d'individus a été prélevée à chacune de ces saisons (Tableau 3.1). Une forte proportion d'EPT compose les deux échantillons. Néanmoins, l'indice de diversité de Shannon est à 0,71 pour le printemps 2011 et 0,89 pour l'automne 2011. Pour les deux saisons, l'indice d'Hilsenhoff est excellent et l'IQH est qualifié d'optimal (Tableau 3.1). L'indice multimétrique donne un état de santé sous-optimal au printemps 2011 et optimal pour l'automne 2011 (Figure 3.21).

Près du pont traversant le cours d'eau Bonhomme-Morency, la station MI5 comporte un échantillon de taille plus élevé au printemps 2011 qu'à l'automne 2010 et 2011 (Tableau 3.1). Le taxon des chironomides domine au printemps à l'automne 2011, tandis que celui des EPT est plus important à l'automne 2010. L'indice de Shannon est élevé pour les deux échantillons automnaux et plus faible pour celui printanier. L'indice d'Hilsenhoff donne un excellent résultat de pollution organique pour les deux premières saisons et un moyen degré pour la dernière saison. L'IQH est constant pour les trois saisons indiquant une qualité marginale des habitats. À l'opposé, l'indice multimétrique est variable. Il va de sous-optimal, à pauvre et finalement à marginal au fil des trois saisons (Figure 3.21).

Peu de macroinvertébrés benthiques ont été prélevés à la station MI6, située en amont de l'enrochement dans le cours d'eau Bonhomme-Morency (Tableau 3.1). Or, la station MI6 possède les proportions d'organismes diptères non-chironomide et non-insecte les plus élevées de l'étude. De plus, cette station possède le plus haut indice de Shannon de l'étude, avec une valeur de 1,05 à l'automne 2011. L'indice d'Hilsenhoff indique une évaluation de pollution organique variable pour les trois saisons : moyenne pour l'automne 2010, plutôt mauvaise pour le printemps 2011 et bonne pour l'automne 2011. L'IQH est qualifié de sous-optimal à l'automne 2010 et de marginal au printemps et à l'automne 2011. Pour l'indice multimétrique, l'état de santé de la station est marginal à l'automne 2010 et 2011 et pauvre au printemps 2011 (Figure 3.21).

Dans la station MI7, située dans le canal de dérivation du cours d'eau Renouf, aucun prélèvement de macroinvertébrés benthiques n'a été réalisé à l'automne 2010. Les échantillons recueillis au printemps et à l'automne 2011 sont de taille plus élevée que dans la station MI4, station aussi située dans le cours d'eau Renouf, et sont majoritairement composés de chironomides. (Tableau 3.1). Quelques organismes diptères non-chironomide et quelques organismes non-insecte y ont été échantillonnés. L'indice de Shannon est plus haut pour le printemps que pour l'automne 2011. L'indice d'Hilsenhoff indique un mauvais degré de pollution au printemps 2011 et pour l'automne 2011, un degré plutôt mauvais. Pour les deux saisons, l'IQH indique une qualité sous-optimale des habitats, tandis que l'indice multimétrique évalue un état de santé marginal à la station.

Finalement, les stations témoin MI3 et MI4 possèdent les meilleures évaluations de qualité des habitats et à l'opposé, les stations témoin MI6 et MI7 obtiennent de mauvais résultats. Pour les autres stations situées dans le cours d'eau Bonhomme-Morency (MI1, MI2 et MI5), les résultats sont variables d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre. De plus, les indices biotiques au sein d'une même station et d'une même saison obtiennent parfois des évaluations opposées.

Du côté de l'IQBP, les résultats des sous-indices mesurés dans les échantillons d'eau sont illustrés à la figure 3.22. Ces résultats ont été associés à leur degré de qualité d'eau (Tableau 3.2). Selon l'IQBP, la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau du cours d'eau Bonhomme-Morency est douteuse où certains usages risquent d'être compromis. Le descripteur limitant serait les matières en suspension. Les valeurs mesurées pour ce sous-indice sont très variables entre les six échantillons (minimum = 43, 1^{er} quartile = 46, médiane = 67, 3^e quartile = 88 et maximum = 94).

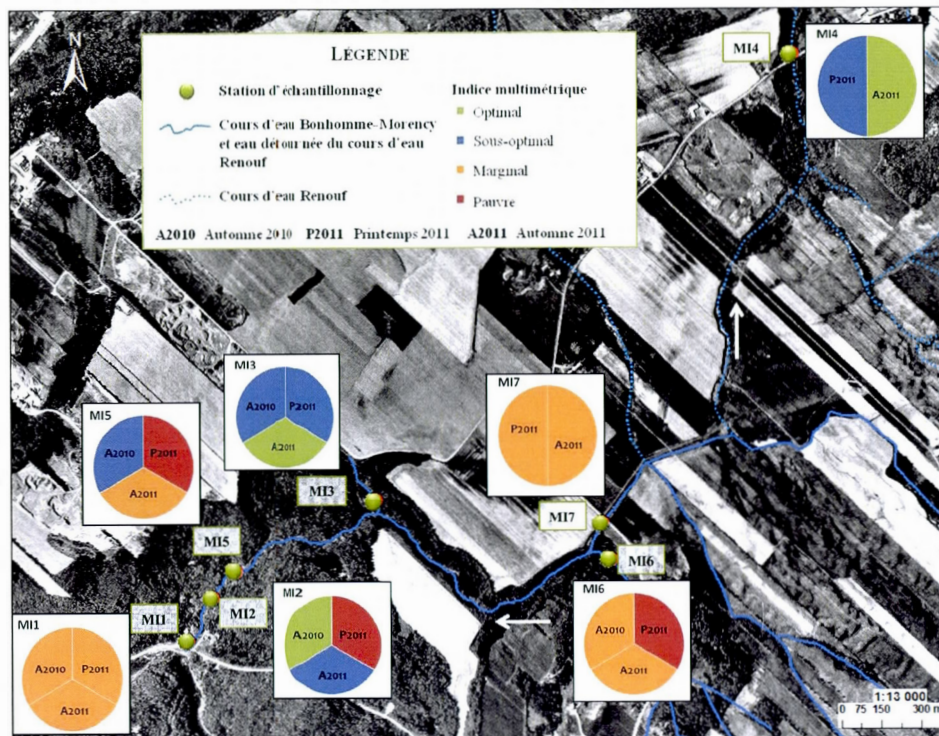


Figure 3.21 Carte présentant les résultats de l'indice multimétrique (pointes de tarte) pour les sept stations ayant fait l'objet de trois campagnes d'échantillonnage de macroinvertébrés : automne 2010 (A2010), printemps 2011 (P2011) et automne 2011 (A2011). Chaque couleur informe sur un état global de santé de la station : optimal (vert), sous-optimal (bleu), marginal (orange) et pauvre (rouge).

Tableau 3.1 Résultats des indices sur l'évaluation de la qualité des habitats mesurés via les communautés de macroinvertébrés benthiques échantillonnées dans trois stations situées dans le corridor enroché du cours d'eau Bonhomme-Morency (MI1, MI2 et MI5), une station dans un tribulaire (MI3), une station en amont de l'enrochement (MI6) et deux stations dans le cours d'eau Renouf (MI4 et MI7).

Indices	MI1-Aval B-M			MI2-Affleurement rocheux			MI3-Tribulaire			MI4-Ruisseau Renouf		
	Automne 2010	Printemps 2011	Automne 2011	Automne 2010	Printemps 2011	Automne 2011	Automne 2010	Printemps 2011	Automne 2011	Printemps 2011	Automne 2011	Automne 2011
Nombre total d'organismes	9	181	34	167	359	199	78	137	256	42	54	
Richesse taxonomique :												
• Totale	4	12	6	13	13	6	14	17	18	13	10	
• EPT	3	5	6	8	5	7	6	8	8	6	6	
Abondance relative :												
• Taxon dominant	33,33	48,07	41,18	29,94	88,86	73,37	33,33	24,82	39,06	38,10	31,48	
• EPT	77,78	63,54	35,29	81,44	11,14	87,44	62,82	64,23	73,05	83,33	81,48	
• Chironomides	11,11	36,46	41,18	0,60	88,86	10,55	8,97	24,82	10,94	9,52	1,85	
• Diptères non chironomide	0	0	5,88	2,99	0	0	8,97	5,84	1,56	4,76	5,56	
• Non insecte	11,11	0	11,76	14,37	0	0,50	10,26	1,46	13,28	0,00	0,00	
• Taxons intolérants	53,90	63,54	26,47	55,09	0,56	81,41	21,79	54,01	49,22	11,90	64,81	
Indice de Shannon	0,56	0,50	0,86	0,81	0,20	0,47	0,91	0,93	0,77	0,71	0,89	
FBI	Bonne	Moyenne	Moyenne	Excellent	Très mauvaise	Excellent	Très bonne	Excellent	Très bonne	Excellent	Excellent	
IQH	marginal	marginal	pauvre	sous-optimal	sous-optimal	sous-optimal	optimal	sous-optimal	optimal	optimal	optimal	
Indices	MI5-Pont 4 routes			MI6-Amont Bonhomme-Morency			MI7-Canal Renouf					
	Automne 2010	Printemps 2011	Automne 2011	Automne 2010	Printemps 2011	Automne 2011	Printemps 2011	Automne 2011	Printemps 2011	Automne 2011	Printemps 2011	Automne 2011
Nombre total d'organismes	12	288	46	38	8	58	188	151				
Richesse taxonomique :												
• Totale	7	12	12	13	18	3	27	13				
• EPT	4	8	5	3	1	4	4	7				
Abondance relative :												
• Taxon dominant	25,00	86,81	47,83	23,68	62,50	22,41	67,02	41,72				
• EPT	58,33	11,81	34,78	10,53	12,50	12,07	21,28	17,88				
• Chironomides	8,33	86,81	47,83	7,89	62,50	5,17	67,02	41,72				
• Diptères non chironomide	8,33	0,69	4,35	15,79	25,00	27,59	9,57	9,27				
• Non insecte	0	0	0	44,74	0	46,55	8,33	0,53				
• Taxons intolérants	33,33	5,56	26,09	15,79	37,50	34,48	33,33	13,30				
Indice de Shannon	0,81	0,28	-0,77	0,96	0,39	1,05	0,94	0,52				
FBI	Excellent	Excellent	Moyenne	Moyenne	Plutôt mauvaise	Bonne	Mauvaise	Plutôt mauvaise				
IQH	marginal	marginal	marginal	sous-optimal	marginal	marginal	sous-optimal	sous-optimal				

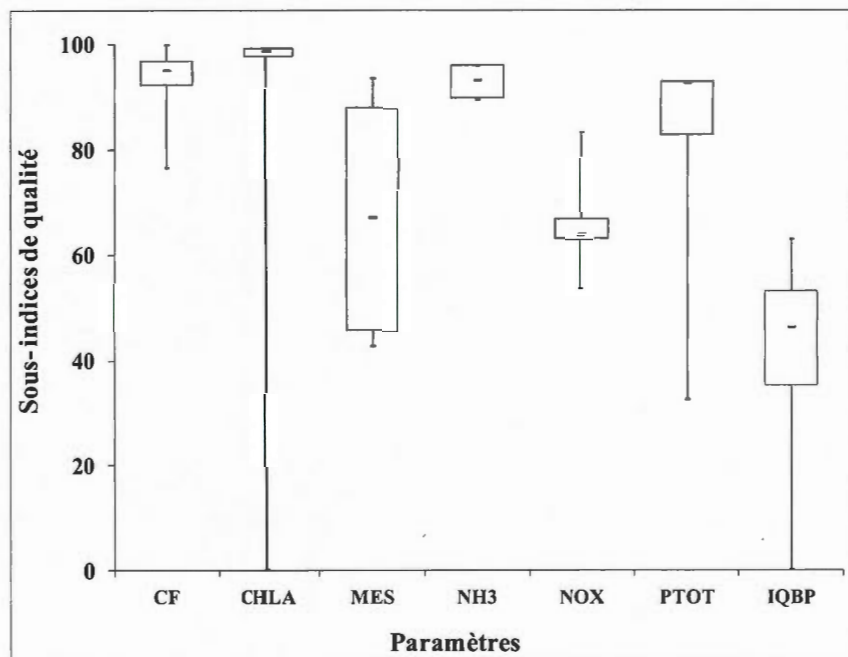


Figure 3.22 Sous-indices de qualité des paramètres mesurés dans le cours d'eau Bonhomme-Morency (à l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles) de mai à octobre 2011 : coliformes fécaux (CF), chlorophylle *a* totale (CHL A), matières en suspension (MES), nitrites et nitrates (NH3), azote et ammoniac (NOX) et phosphore total (PTOT). Les données ont été traitées par l'Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-St-Laurent.

Tableau 3.2 Degré de qualité de l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP) du cours d'eau Bonhomme-Morency (à l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles) de mai à octobre 2011. Les données ont été traitées par l'Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-St-Laurent.

Coliformes fécaux	Chlorophylle A	Matières en suspension	nitrites et nitrate	Azote et ammoniac	phosphore total	IQBP
bonne	bonne	satisfaisante	bonne	satisfaisante	bonne	douteuse

CHAPITRE IV

DISCUSSION

4.1 Historique et aménagement du cours d'eau Bonhomme-Morency

Dans la section Historique, plusieurs décisions prises et interventions réalisées depuis 1977 sont présentées. De l'histoire du cours d'eau Bonhomme-Morency, quatre principaux constats ressortent et sont développés dans les prochaines sections:

1. Une prise de décisions inadéquate
2. Des décisions prises en réaction à d'autres décisions
3. Un manque de considérations géomorphologiques
4. Une absence de suivi

4.1.1 Premier constat

Le premier constat provient de la décision prise en 1977 d'accorder le détournement d'une portion des eaux du ruisseau Renouf dans celles du Bonhomme-Morency. À l'unanimité, toutes les personnes questionnées lors des entrevues concèdent que l'origine du problème provient effectivement du détournement. À cette époque, les connaissances sur l'impact des détournements étaient moins avancées qu'aujourd'hui. Actuellement, on connaît les effets des détournements de cours d'eau sur la biodiversité et les écosystèmes à l'échelle des bassins versants (Kingsford 2000). Pour le cours d'eau détourné, la diversité de la flore et de la faune aquatique, semi-aquatique et terrestre (macroinvertébrés, poissons, oiseaux et mammifères) décroît très rapidement suite au détournement. Cette intervention, modifiant la quantité d'eau dans le cours d'eau, altère les débits liquides et solides ainsi que l'amplitude des crues (Wang *et al.* 2008). Par conséquent, ces processus agissent sur les

formes : modification de la topographie du lit, de la taille des grains et de la pente (Figures 1.1 à 1.4) et le cas du ruisseau Bonhomme-Morency constitue un exemple de ces modifications. Aucune information n'existe sur l'ordre des changements morphologiques et biologiques apparus depuis 1977, dans le cours d'eau Renouf. Néanmoins, il est évident que ce cours d'eau a subi une perturbation liée au détournement d'une partie de ces eaux et qu'il s'est ajusté à ses nouveaux débits. Maintenant, avec les connaissances acquises par la communauté scientifique, tout porte à croire que les décisions auraient été différentes en 1977 et que le détournement des eaux du ruisseau Renouf aurait été évité. Les sommes d'argent investies dans les deux cours d'eau depuis 1977 auraient pu être moindres si les canaux, les ponts, les ponceaux au centre-ville avaient plutôt été réaménagés.

Dans les cas des décisions prises pour l'enrochement de 2009, elles ne différeraient probablement pas aujourd'hui. Lavoie (2013), responsable du projet de consolidation du cours d'eau Bonhomme-Morency au CEHQ, maintient que l'enrochement total du cours d'eau de 2009 était l'option la plus valable pour répondre aux objectifs de stabilisation. Or, aucun aménagement de cette envergure n'a d'équivalent dans les rivières de l'Est-du-Québec et aucun suivi d'enrochement ne semble avoir été réalisé dans cette province pour ce type d'aménagement (Forget 2012). Ainsi, très peu d'informations sont disponibles sur l'impact et le succès de ces aménagements. De plus, peu de connaissances existent sur les trajectoires morphologiques des cours d'eau fortement aménagés et leurs répercussions en régions froides et dans un contexte de changements globaux (Palmer *et al.* 2008). Conséquemment, il était prématuré d'opérer sous l'hypothèse que l'enrochement était l'option la plus recevable. D'autant plus que l'expertise hydraulique ne montre aucune étude approfondie du cours d'eau avant la prise de décision d'enrocher le cours d'eau Bonhomme-Morency.

Les instances municipales ont fait de nombreuses pressions pendant plusieurs années auprès du gouvernement afin que des solutions soient proposées pour stabiliser le cours d'eau Bonhomme-Morency. Selon Rheault (2012), le gouvernement se devait d'agir rapidement pour limiter l'impact des apports de sédiments fins dans la rivière Trois-Pistoles. Or, quel impact cette charge sédimentaire du Bonhomme-Morency avait-elle sur la rivière Trois-Pistoles? Plusieurs perturbations de sources différentes semblent avoir participé à la

dégradation de la Trois-Pistoles (section 3.1.2), mais aucune étude n'a été réalisée pour évaluer l'effet de ces diverses perturbations. À l'exception de l'eau turbide coulant vers la rivière Trois-Pistoles, aucune information n'existait sur l'effet des ajustements morphologiques du Bonhomme-Morency. Ce cours d'eau avait, à l'origine, l'allure d'un ruisseau agricole et n'avait aucune retombée économique pour la région (Leblond 2012). L'expropriation des quinze mètres de bandes riveraines de chaque côté du cours d'eau a eu pour effet de prévenir la perte directe de superficies agricoles.

Dans ce contexte où plusieurs données scientifiques étaient absentes, il est possible de croire que l'aspect esthétique de l'eau brune fortement chargée en sédiments ait été l'argument principal pour agir rapidement en situation de crise. L'eau dite « sale » aurait pu choquer les gens et inciter le gouvernement à agir aussi rapidement sans étude approfondie. Des connaissances sur l'évolution géomorphologique et écologique du cours d'eau Bonhomme-Morency et de la rivière Trois-Pistoles auraient dû être acquises avant d'investir des sommes considérables dans un enrochement majeur. Une étude approfondie aurait pu apporter des informations sur le stade d'incision du cours d'eau Bonhomme-Morency. Beechie *et al.* (2008) suggèrent de ne pas entreprendre de travaux de réhabilitation ou de restauration dans un lit perturbé si le stade d'élargissement et d'aggradation n'est toujours pas atteint. Or, ni l'étude préliminaire, ni l'expertise hydraulique ne font mention du stade d'incision ou d'aggradation du cours d'eau Bonhomme-Morency.

4.1.2 Deuxième constat

Le deuxième constat fait référence aux décisions prises en réaction aux décisions précédentes. En effet, l'enchaînement de décisions et d'interventions pour contrer l'érosion du cours d'eau Bonhomme-Morency montre une gestion réactive du système. Des enrochements localisés, des nettoyages de débris ligneux au lit, une reconstruction de pont et de ponceau et l'enrochement majeur de 2009 ont lieu depuis les trente dernières années. Selon une approche proactive, les décisions et les aménagements auraient été faits en considérant la source du problème (la hausse de débit causée par le détournement). Les interventions des dernières décennies auraient plutôt eu lieu dans le bassin versant pour favoriser la recharge en sédiments plus grossiers (sable, gravier, galet) et œuvrer selon les

débits plus élevés. Comme l'étude de Rinaldi *et al.* (2009) le suggère, un cours d'eau en incision doit être restauré par des aménagements à l'échelle du bassin versant. Évidemment, en travaillant à la source du problème, la restauration est plus lente à apercevoir (Brierley & Fryirs 2005). Or, les traces laissées dans la nature sont moindres et les chances de succès sont plus élevées.

Une gestion adaptative aurait permis la création d'un comité multidisciplinaire pour l'élaboration d'un plan et d'une étude en profondeur de la problématique. De cette manière, les intervenants (aménagistes, ingénieurs, biologistes, environnementalistes, conseillers municipaux, agriculteurs, riverains) auraient suggéré des alternatives moins drastiques ou simplement donner leur point de vue sur la stabilisation et la restauration du cours d'eau Bonhomme-Morency. Les intervenants se seraient engagés dans un processus d'aménagement étudié, consulté et approuvé. Une gestion adaptative aurait amoindri les coûts d'aménagement, amélioré l'aspect esthétique du cours d'eau, sensibilisé la population, créé des valeurs ajoutées (création d'un parc, de sentiers et de sites d'interprétation) et amélioré les connaissances scientifiques. Le cours d'eau Bonhomme-Morency aurait servi de site expérimental pour étudier des processus géomorphologiques (incision, dynamique des versants argileux, patrons d'aggradation et de dégradation). D'autres techniques d'aménagement (ex. : construction de marche-cuvettes pour ralentir la vitesse d'écoulement et expérimentation en génie végétal pour stabiliser les versants), auraient été étudiés pour approfondir les connaissances sur la dynamique des petits cours d'eau à forte pente au Québec en tenant compte de la dynamique fluvioglacière et du contexte de changements globaux.

4.1.3 Troisième constat

Le troisième constat tient compte du manque de considérations géomorphologiques dans les décisions et les interventions. Effectivement, au Québec, la géomorphologie fluviale tarde à se faire intégrer dans les processus d'aménagement des cours d'eau (Forget 2012). Pourtant, cette discipline est maintenant reconnue en France (Bravard *et al.* 1999), en Italie (Rinaldi *et al.* 2009), en Australie (Brierley *et al.* 2002, Spink *et al.* 2009) et aux États-Unis (Gilvear 1999). Dans ces pays, la popularité de la géomorphologie fluviale provient

des hauts taux de succès des aménagements ayant adopté ses concepts dans leur planification. L'intégration de la géomorphologie fluviale dans les pratiques d'aménagement vise à travailler selon le fonctionnement de la rivière, selon les processus qui conditionnent les problèmes (inondation, érosion, glissement de terrain) et à créer des solutions durables (Brierley & Fryirs 2005, Spink *et al.* 2009). Selon Forget (2012), il importe de continuer la sensibilisation et l'éducation de cette nouvelle discipline au Québec pour qu'au fil du temps les ministères et les firmes d'ingénieries assimilent les connaissances sur la dynamique fluviale et puissent les intégrer dans leurs plans d'aménagements.

Pour faciliter l'intégration de la géomorphologie fluviale, Brierley & Fryirs (2008a) proposent cinq principes pertinents à considérer dans les programmes de réhabilitation:

1. Respecter la biodiversité et la géodiversité de la rivière et de son bassin ;
2. Utiliser le concept de trajectoire morphologique et comprendre les ajustements morphologiques en réaction aux perturbations anthropiques et naturelles ;
3. Étudier le comportement et analyser la capacité d'ajustement, de sensibilité et de résilience du cours d'eau ;
4. Évaluer et promouvoir la connectivité du système ;
5. Déterminer le potentiel de rétablissement (facteurs limitants) en considérant le minimum d'interventions pour guider le système fluvial à s'aider lui-même.

Dans le cas du cours d'eau Bonhomme-Morency, ces cinq principes auraient pu être appliqués dans les plans d'aménagements. Basé sur cette prémisse, il est possible de penser que le détournement n'aurait jamais eu lieu en 1977 avec les conséquences écologiques et géomorphologiques maintenant connues dans ce cours d'eau. Cette même réflexion nous porte à croire que la construction de l'école secondaire en 1968 n'aurait probablement pas eu lieu dans la plaine inondable du ruisseau Renouf. En 2009, les acteurs impliqués dans la stabilisation du cours d'eau Bonhomme-Morency auraient pu intégrer dans les plans d'aménagement les cinq principes de gestion des risques et de dynamique fluviale présentés par Brierley & Fryirs (2008a) :

1. Caractériser la biodiversité et la géodiversité du bassin versant du ruisseau Bonhomme-Morency avant et après le détournement ;
2. Étudier la trajectoire morphologique du cours d'eau (passée et présente). Évaluer les réponses face aux perturbations anthropiques et naturelles (en fonction des données disponibles). Étudier l'évolution du cours d'eau ;
3. Évaluer la sensibilité, la capacité d'ajustement et de résilience du cours d'eau Bonhomme-Morency. Analyser les possibilités du cours d'eau de retrouver sa dynamique et sa morphologie initiale, et d'évaluer si les changements sont irréversibles ;
4. Analyser la connectivité dans le système (présence de barrages, de bâtiments, de canalisations, de cours d'eau discontinués, d'irrigation agricole, de routes limitant le libre écoulement) ;
5. Connaître les facteurs limitants pouvant affecter le potentiel de restauration ou de réhabilitation du cours d'eau Bonhomme-Morency. Examiner les options d'interventions pour favoriser le rétablissement du cours d'eau Bonhomme-Morency tout en limitant l'apport de sédiments fins dans la rivière Trois-Pistoles.

Pour atteindre ces objectifs, différents outils existent : la photo-interprétation historique (Thorne *et al.* 1996), la caractérisation du bassin versant (Montgomery & MacDonald 2002), les mesures de paramètres hydrauliques et hydrologiques (débit, pente, réponse hydrologique, sorties sur le terrain) (Kondolf & Micheli 1995) et l'intégration du savoir local (Pahl-Wostl *et al.* 2007). Il importe de considérer cette démarche comme un investissement à long terme sur le plan économique, social et environnemental, même si cela requiert du temps et des ressources économiques.

4.1.4 Quatrième constat

Le quatrième constat concerne l'absence de suivi après les aménagements. Comme l'a mentionné Forget (2012), un manque de soutien public et financier perdure et limite les possibilités d'implantation de programmes de suivi. De règles générales au Québec, le promoteur a le rôle de faire le suivi si le ministère l'exige dans son certificat d'autorisation. Le ministère encadre le suivi en imposant un nombre d'années spécifiques et les

composantes à évaluer lors du suivi. Ainsi, le ministère demande au promoteur de s'autoévaluer, de faire ses propres échantillons et ses analyses. Finalement, les résultats du suivi ne s'avèrent guère pertinents et utilisables. Forget (2012) croit plutôt que le ministère devrait exiger une démarche à suivre de suivi pour le promoteur. Cette méthode permettrait d'obtenir des données probablement plus pertinentes et comparables d'un aménagement à l'autre.

Dans le cas de l'enrochement majeur du ruisseau Bonhomme-Morency, le MMDEFP n'a pas imposé de suivi aux promoteurs. L'enrochement se devait d'être stable et durable, ne demandant aucun autre investissement, ni interventions, ni suivi (Goyette 2012). Le ministère a tenu pour acquis que les promoteurs se responsabilisent et s'assurent de réaliser des aménagements efficaces et durables.

4.2 Réflexion sur la trajectoire morphologique observée

4.2.1 L'historique des événements anthropiques responsables des changements morphologiques

Le premier objectif était d'étudier l'historique des événements anthropiques ayant contribué aux changements morphologiques importants dans le ruisseau Bonhomme-Morency et des procédures politiques ayant mené à l'aménagement de 2009. Selon les photos aériennes de la figure 3.5, les changements morphologiques étaient nettement apparents dès la première décennie ayant suivi le détournement. Durant, les années suivantes, l'élargissement et la migration latérale n'ont fait que croître. L'évènement responsable des changements morphologiques est l'augmentation soudaine du débit en 1977 dans le cours d'eau Bonhomme-Morency. Cette perturbation « en continue » est venue modifier la trajectoire du cours d'eau en causant des ajustements morphologiques progressifs, comme le présente le deuxième modèle de trajectoire de Brierley *et al.* (2008) (Figure 1.5). Ce type de trajectoire se caractérise par un état dégradé, une homogénéisation des structures géomorphologiques et une détérioration de l'écosystème. Selon ces auteurs, un degré d'intervention minimaliste devrait être appliqué à ce type de trajectoire, tout en y accordant une importante priorité d'intervention.

Le détournement a provoqué une augmentation de débit liquide dans le ruisseau Bonhomme-Morency. Selon la balance de Lane (Figure 1.3), ce phénomène entraîne une dégradation du lit et une augmentation du débit solide. Pour réatteindre à un état d'équilibre, une aggradation et une diminution de la pente doivent se produire en aval de la zone perturbée. Pour le cours d'eau Bonhomme-Morency, l'aggradation ne semble pas s'être produite depuis le détournement, mais aucune donnée ne peut l'affirmer. Selon Rheault (2012), les dépôts d'argiles marines au lit, directement exposés aux forces de cisaillement, étaient toujours transportés, même à faible écoulement en 2009. En se basant sur les observations de Rheault (2012), le cours d'eau Bonhomme-Morency, avant l'enrochement, peut s'apparenter au stade « C » du premier modèle de Beechie *et al.* (2008) (Figure 1.6) ou à l'intermédiaire du stade B et C du schéma conceptuel de Pollock *et al.* (2007) (Figure 1.7B-C). L'aggradation est absente ou minime aux stades de ces deux modèles.

Lors de l'enrochement total du cours d'eau Bonhomme-Morency, la trajectoire morphologique a été à nouveau modifiée en subissant cette fois un seuil de changement (Figure 1.5). L'enrochement l'a converti en un nouveau type de cours d'eau où l'eau s'écoule au travers de pierres de taille moyenne de 37,25 cm. La pente du cours d'eau a aussi été modifiée et lissée sur tout le tronçon. Le débit solide semble avoir diminué (Rheault 2012). Selon le troisième modèle de trajectoire morphologique de Brierley *et al.* (2008), le seuil de changement décrit un potentiel de restauration faible, un haut degré de dégradation et l'apparition de changements drastiques et irréversibles. Tout comme l'étude de Rinaldi *et al.* (2009), les auteurs proposent d'intervenir à l'échelle du bassin versant lorsque le cours d'eau subit des perturbations de cette ampleur.

4.2.2 La stabilisation du cours d'eau vers une formation d'unités morphométriques

Le deuxième objectif était de déterminer la stabilité du matériel d'enrochement et les changements morphologiques potentiels dans le tronçon. Les résultats du suivi montrent bel et bien une stabilité de l'enrochement dans la zone enrochée, à l'exception du secteur aval où les pierres se déplacent (cet enrochement date de 2004). L'instabilité a débuté à l'embouchure avec la rivière Trois-Pistoles, où l'absence d'enrochement en aval laissait l'espace aux pierres de se déplacer vers l'avant, et de déstabiliser celles à l'amont. Si les

roches continuent de se mobiliser au fil des décennies, il est possible qu'une érosion régressive progresse (érosion débutant à l'aval et s'accroissant vers l'amont) et déstabilise une partie du tronçon enroché. Une crue exceptionnelle pourrait accélérer la déstabilisation en aval et l'érosion régressive. Généralement, les blocs retrouvés dans les cours d'eau montagnards se déplacent seulement lors des événements exceptionnels aux 50-60 ans (Grant *et al.* 1990, Lenzi 2004). Selon Gintz *et al.* (1996), il est toutefois difficile de prédire le transport des sédiments en cours d'eau montagnards puisque la morphologie marches-cuvettes est stable et qu'il y existe une forte hétérogénéité sédimentaire. Dans le cas du cours d'eau Bonhomme-Morency, l'enrochement ne forme pas de morphologie ordonnée jusqu'à maintenant. Cependant, les pierres en aval pourraient continuer de se déplacer de quelques centimètres durant les prochaines crues annuelles, vers la formation d'unités morphométriques (ex. : marches-cuvettes). Une fois formé, ce phénomène permettrait d'engendrer une meilleure stabilité et une apparence plus naturelle.

Certaines caractéristiques hydrologiques du cours d'eau Bonhomme-Morency sont similaires à celles des cours d'eau montagnards: la pente forte, la petite taille du bassin versant, la réponse hydrologique rapide, l'absence de plaine inondable, la présence de débris ligneux, les ajustements aux changements de débits et la sensibilité aux interventions humaines. De plus, selon la figure 1.8E (adapté de Buffington 2012), la pente moyenne du cours d'eau en 2012, de 5%, associe le cours d'eau Bonhomme-Morency au style fluvial marches-cuvettes. Ces composantes nous portent à croire que ce ruisseau enroché pourrait réagir similairement à un cours d'eau montagnard. Toutefois, la présence de dépôts deltaïques et argileux, retrouvés normalement en bas de vallée dans des systèmes fluviaux très différents (Desloges & Church 1987), rend difficilement classifiable le cours d'eau Bonhomme-Morency.

Il est ainsi difficile de prévoir comment l'enrochement en aval réagira au fil des années. Goyette (2012) ne croit pas à un déplacement des blocs puisque l'enrochement de 2009 est prévu pour résister aux crues centennales. Aucune littérature ne peut renseigner sur les effets de tels enrochements et sur leur degré de stabilité (enrochements au niveau du lit et des berges). Il existe toutefois quelques études présentant de faibles taux de succès des enrochements au niveau des berges, notamment au niveau des ponts et des ponceaux (Chiew

1995, Li & Eddleman 2002). En n'agissant pas à la source du problème, il est difficile de trouver une solution efficace. Watson *et al.* (2002) ont comparé trois méthodes de réhabilitation de cours d'eau : la stabilisation des berges, le contrôle de la pente et le contrôle de l'écoulement. La stabilisation de la berge a pour avantage de diminuer l'apport en sédiments localement, mais a pour effet d'enclencher une incision locale. Le contrôle de la pente induira une aggradation en amont, mais entraînera une incision et une instabilité en aval par la réduction de l'apport de sédiments. La dernière méthode, basée sur le contrôle de l'écoulement, réduira les pics de crues et améliorera temporairement la stabilité en aval. Elle diminuera aussi l'apport de sédiments dans le système et entraînera l'incision.

4.2.3 L'évolution du colmatage localisée

Le troisième objectif du suivi était d'évaluer l'évolution du colmatage de l'enrochement. Les résultats montrent que le colmatage n'a pas drastiquement changé dans les sections transversales. Certaines sections ont subi une légère augmentation en colmatage, d'autres une légère diminution. Aucune tendance amont-aval de colmatage n'est ressortie. Seulement, la section transversale S3 diffère des autres où le comblement des interstices était déjà élevé au début du suivi. Cette section a une profondeur, une rugosité, une pente et une contrainte de cisaillement plus faibles que les autres sections. Cette section est en effet située dans l'affleurement rocheux où une zone de colmatage élevée est retrouvée (zone 1). Dans le profil en long de la figure 3.10A, la zone d'affleurement rocheux est située à 1,8 km de l'amont. La rupture de pente à cet endroit est visible au niveau des profils en long de 2000 et 2012. Ainsi, le fort colmatage de la zone 1 et de la section transversale est associé à la rupture de pente, causant une diminution de la vitesse d'écoulement et accumulation des sédiments. Une fois que la zone sera complètement colmatée, le rayon de colmatage augmentera en superficie vers l'amont et l'aval. Ce secteur sera probablement celui qui aura, le plus rapidement et en permanence, une eau en surface de l'enrochement. Dans quelques années, la section S2 pourrait aussi avoir considérablement augmenté en colmatage.

La puissance d'un cours d'eau a une grande influence sur plusieurs aspects du système fluvial: les formes (ex. : formes au lit), les patrons (aggradation, érosion), les processus (ex. : taux de transport) (Knighton 1999). La puissance spécifique a été calculée

dans onze sections transversales du tronçon enroché afin d'évaluer les zones les plus susceptibles aux changements morphologiques. Les résultats montrent que les valeurs de puissance spécifique sont sensiblement similaires entre les onze sections, à l'exception de S1, S4 et S11 ayant des valeurs plus élevées lorsque le débit est à $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$. Puisque la pente est plus élevée dans ces trois sections, les résultats stipulent qu'à l'atteinte d'un certain seuil de débit, la pente influence davantage la capacité de transport de sédiments qu'à plus faible débit.

Au niveau des deux zones de colmatage élevé en amont, la croissance du rayon colmaté annuellement montre qu'il y a réellement un apport sédimentaire des versants dans le chenal. La croissance du rayon colmaté de la zone 2 se fait de façon latérale, tandis que pour la zone 3, l'expansion se fait vers l'avant et vers le centre du chenal. L'expansion vers le centre du chenal du rayon colmaté de la zone 3 corrobore avec les résultats du suivi de colmatage de la section transversale S7. Cette dernière a obtenu la plus grande augmentation de l'étude avec une hausse de 0,14 m entre l'automne 2010 et 2012. Le secteur près de la zone 3 pourrait permettre d'alimenter les interstices des pierres et contribuer au colmatage. Pour les autres sections longeant les versants en érosion, peu de différences de colmatage ont été mesurées. La zone 3 serait donc la zone incluant le versant le plus actif.

Jusqu'à maintenant, les versants sont toujours actifs. La caméra pointant sur le versant le plus dynamique montre que l'érosion est plus importante au printemps, lors de la succession des cycles de gel-dégel (processus d'érosion subaérienne). L'eau emmagasinée entre les sédiments fins gèle en contact avec l'air froid (Prosser *et al.* 2000). Le volume occupé par la glace fragilise les versants en diminuant la cohésion entre les sédiments fins. Lorsque la température augmente, la glace fond et les sédiments deviennent beaucoup plus sensibles à l'érosion. En été, la dessiccation pourrait être le mouvement subaérien suscitant l'érosion des versants. Lorsque les agrégats de sédiments fins sèchent, une contraction volumétrique se produit et crée l'apparition de fentes de dessiccation entre ces agrégats (Couper & Maddock 2001). Les fissures affaiblissent les amas de sédiments et finissent par se détacher de la paroi. La dessiccation n'est toutefois pas visible sur la caméra Reconyx. Par contre, selon les résultats de recul des versants, il y a bel et bien de l'érosion qui se produit entre l'automne et le printemps. L'érosion des versants demeure la source de

sédiments actuellement observable pour colmater les interstices de l'enrochement. Pour le moment, il est difficile de vérifier l'apport sédimentaire des deux cours d'eau (le canal de détournement et le ruisseau Bonhomme-Morency non enroché). En aval de la section S11, une rupture de pente est visible sur la figure 3.10A. Cet endroit correspond à la zone de confluence entre le canal de détournement et le ruisseau Bonhomme-Morency non enroché. Aucune section transversale n'a été étudiée à la confluence, mais il serait intéressant d'ajouter ce secteur dans le prochain suivi pour y évaluer l'évolution de colmatage et connaître l'apport des deux chenaux.

En deux années de suivi, le colmatage n'a que finement changé. On peut ainsi croire que cela prendra plusieurs décennies avant de voir un bon colmatage permettant de faire circuler l'eau en surface. Pour bien évaluer la trajectoire morphologique du cours d'eau Bonhomme-Morency, il importe de continuer le suivi afin d'examiner les processus dominants dans le tronçon enroché. De plus amples connaissances sur le colmatage des interstices, l'érosion des versants et l'érosion régressive à l'aval dicteront la dynamique et la morphologie du Bonhomme-Morency. En effectuant d'autres campagnes de terrain dans les prochaines années, il sera possible de voir s'il y a eu des changements morphologiques dans ces trois sections.

4.2.4 La qualité des habitats et les indicateurs biologiques

Le quatrième objectif était d'examiner la qualité des habitats dans le tronçon aménagé par le biais d'indicateurs biologiques. Les résultats, au niveau de l'indice multimétrique, montrent que les deux sites témoins (MI3 et MI4) et le site MI2 (près de l'affleurement rocheux où il n'y a pas d'enrochement) possèdent les meilleures cotes. Leurs indices de qualité des habitats offrent aussi de bons résultats. En effet, ces trois stations sont les seules à posséder une bande riveraine de plus de trois mètres de large. La strate arborescente permet d'offrir un abri contre le soleil, de diminuer le réchauffement de l'eau et de limiter la croissance des algues et des cyanobactéries (Quinn *et al.* 1997). En faible quantité, les algues et les cyanobactéries servent de ressources alimentaires à plusieurs taxons d'invertébrés (Laasonen *et al.* 1998). En fortes concentrations, elles diminuent plutôt la concentration d'oxygène dissout, notamment lors de leur respiration la nuit et de leur

décomposition par les bactéries hétérotrophes (Gallegos *et al.* 1992). Ces processus affectent directement la survie des taxons intolérants à une faible concentration en oxygène dissout (Pinckney *et al.* 1997).

Les sites MI2, MI3 et MI4 possèdent aussi un substrat favorable à la colonisation des macroinvertébrés benthiques. Selon Ward (1975), un lit hétérogène, composé de sable, de graviers, de galets et de blocs, constitue le substrat idéal pour abriter une richesse taxonomique élevée. Dépendamment des taxons, les larves d'EPT, de diptères et les oligochètes se fixeront sur ces différents types de substrat. De plus, la rugosité au lit, créée entre autres par l'hétérogénéité du substrat, est aussi importante puisqu'elle est étroitement liée à la quantité de litière au lit qui est une source de nourriture importante pour les macroinvertébrés déchiqueteurs et détritivores (Laasonen *et al.* 1998).

À l'opposé, les stations MI1, MI5, MI6 et MI7 possèdent un substrat moins favorable à une forte diversité benthique. MI1, MI5 et MI7 ont un lit peu hétérogène et majoritairement composé de pierres d'enrochement et MI6 est plutôt constitué d'un substrat fin (limons, sables, argiles). Ajoutées à cela, ces quatre stations sont directement exposées aux rayons solaires. Selon les résultats, MI1, MI5, MI6 et MI7 ont obtenu des cotes d'indices multimétriques et de qualité des habitats inférieures aux stations MI2, MI3 et MI4.

Il faut être prudent dans l'analyse des communautés biologiques. Des facteurs climatiques peuvent influencer l'assemblage des communautés de macroinvertébrés en eaux courantes. Les conditions hydrométéorologiques (précipitations, fonte de la neige) fluctuent d'une saison ou d'une année à l'autre et modifient les caractéristiques hydrologiques des cours d'eau (Buffington 2012). Certains taxons de macroinvertébrés sont davantage sensibles aux fluctuations des niveaux d'eau et de température (ex. : EPT) (Feminella 1996). En période de sécheresse, la richesse taxonomique et l'abondance des organismes diminuent dans les cours d'eau ayant des écoulements éphémères (écoulement temporaire imprévisible et discontinu) et intermittents (écoulement temporaire plus ou moins prévisible) (Clarke *et al.* 2010). La température joue aussi un rôle sur l'assemblage des communautés de macroinvertébrés en eaux courantes (Feminella 1996). Dans le cas du cours d'eau Bonhomme-Morency, l'écoulement peut devenir très bas en été et s'avérer intermittent. Ainsi, durant le suivi en été, les communautés biologiques ont nécessairement subi

l'assèchement de leurs habitats à certaines reprises. En saison estivale, la hauteur d'eau est aussi peu élevée dans le ruisseau Bonhomme-Morency. La profondeur d'eau influence directement la dispersion de la lumière dans la colonne d'eau (la dispersion diminue avec la profondeur) et influe sur la croissance des algues et des cyanobactéries au lit (Huisman 1999).

Selon Feminella (1996) et Clarke & al. (2010), les perturbations climatiques, physiques et physico-chimiques de fortes amplitudes peuvent influencer à long terme la structure des communautés aquatiques. Pour le cours d'eau Bonhomme-Morency, l'enrochement de 2009 a totalement modifié le type de substrat au lit, la structure d'écoulement et la concentration de matières en suspension. Avant ces travaux, les communautés biologiques en place auraient hypothétiquement subi une forte perturbation. Toutefois, la grande concentration de sédiments en suspension créée depuis le détournement avait possiblement déjà limité la présence de plusieurs taxons intolérants à une mauvaise qualité d'eau. Un apport élevé de matières en suspension provoque une baisse du développement algale causée par l'insuffisance d'énergie lumineuse dans la colonne d'eau (Gallegos *et al.* 1992). De la sorte, il est possible de penser que, dans le futur, l'abondance et la richesse de la faune benthique dans le cours d'eau Bonhomme-Morency seront meilleures que depuis les trente dernières années. La période de recolonisation, après une forte perturbation, peut prendre plusieurs années (Clarke *et al.* 2010). Ce phénomène explique les résultats des indices multimétriques moins élevés pour les stations MI1, MI5 et MI7 ayant été échantillonnés seulement quelques années après l'enrochement majeur. L'IQBP, désignant la qualité de l'eau du ruisseau Bonhomme-Morency de douteuse où certains usages risquent d'être compromis pourrait aussi s'améliorer au fil des ans. Le facteur limitant, étant les matières en suspension, pourrait diminuer dans le futur lorsque le colmatage augmentera et emprisonnera les sédiments plus fins.

Finalement, il serait intéressant de poursuivre le suivi de la qualité des habitats afin de vérifier s'il y a des changements dans l'assemblage des communautés de macroinvertébrés au fil des années. De plus, la continuation du suivi permettrait de savoir si les communautés biologiques du tronçon enroché (MI1, MI5 et MI7) tendent à ressembler à celles n'ayant pas été touchées par la présence de l'enrochement (MI2, MI3, MI4 et MI6). En outre, il faut être

prudent dans la comparaison des indices des communautés biologiques (entre les années et entre les stations), car il faut intégrer des variables climatiques, physiques et physico-chimiques dans l'analyse.

4.3 Réflexion sur le suivi réalisé et l'importance de le poursuivre

Un des buts de ce projet de maîtrise était d'initier un programme de suivi permettant d'évaluer la réponse à court terme du cours d'eau Bonhomme-Morency suite à l'enrochement majeur de 2009. Le projet de recherche a été construit dans le but de répéter le suivi dans les prochaines années et d'évaluer l'évolution et la trajectoire morphologique du cours d'eau. L'étude se veut un outil de sensibilisation sur l'impact des enrochements en rivière et sur l'importance des considérations géomorphologiques dans les plans d'aménagement.

Pour ce faire, certaines mesures doivent être réeffectuées dans les prochains suivis. Il importe de poursuivre le suivi de déplacement des traceurs. Les données pourront informer sur l'évolution de l'instabilité en aval (si l'érosion régressive progresse) et sur la stabilité de l'enrochement dans le reste du tronçon enroché. La durée de vie des PIT-tags est évaluée à cinquante ans (Allan *et al.* 2006). Il est aussi nécessaire de poursuivre l'étude de l'évolution de colmatage dans les sections transversales et les zones fortement colmatées. Il sera intéressant de comparer les sections d'un suivi à l'autre, d'évaluer le taux de comblement des interstices et de déterminer les endroits les plus favorables au colmatage. Les points de peinture sur les pierres, le long des sections transversales, devraient rester visibles quelques années encore. Il serait toutefois intéressant de rafraîchir les points de peinture dans les deux ou trois prochaines années. Pour les caméras Reconyx, il serait pertinent de les installer aux mêmes endroits pour comparer les images de plusieurs années et d'y observer les différences (ex. : si l'eau remonte plus rapidement et plus fréquemment en surface de l'enrochement). Le recul des falaises est aussi un volet intéressant à réétudier. En mesurant le recul dans les prochains suivis, il sera possible de voir si le versant est toujours en érosion, s'il y a des zones plus actives ou s'il s'est plutôt stabilisé. Pour le suivi de qualité des habitats, il importe de continuer l'échantillonnage des communautés de macroinvertébrés pour déterminer la présence d'une amélioration des habitats.

Les principaux points pouvant être améliorés lors des prochains suivis sont l'installation de deux stations de jaugeage fonctionnelles (une en amont dans le canal de détournement et une seconde en aval près du pont), les mesures de débits et le profil en long. Les deux stations installées lors de ce suivi ne semblent pas avoir fonctionné correctement. Le positionnement des stations requiert un endroit accessible au printemps et où l'eau est présente la majeure partie de l'année. Pour les débits, les mesures effectuées durant le suivi semblent erronées. Il est nécessaire de trouver une méthode permettant de mesurer les débits adéquatement toute l'année tout en considérant les caractéristiques particulières du cours d'eau Bonhomme-Morency (présence de ponceaux, de pierres d'enrochement, d'un lit irrégulier et d'un écoulement faible ou intermittent en été).

La comparaison des trois profils en long s'avère surprenante. En effet, avec un enrochement variant entre un et quatre mètres de profondeur, il était possible de penser que le profil réalisé en 2012 aurait une altitude plus élevée que celui datant de 2000 et 2007. Or, les résultats ne suivent pas cette tendance. Certains secteurs (0,6 km, 1,0 km et 1,4 km) ont une hauteur de lit plus faible en 2012 qu'en 2007 et aucune excavation n'a eu lieu dans ces secteurs. Il est peu probable que l'incision entre 2007 et 2009 (date de l'enrochement) ait été aussi importante pour abaisser de cette façon l'élévation du lit. Il est aussi surprenant d'obtenir des résultats montrant une hauteur de lit plus grande en 2007, qu'en 2000 et 2012. Ajoutée à cela, aucune différence de hauteur pour le secteur à 0,2 km en amont n'a été enregistrée. Pourtant, cet endroit est situé dans le canal de détournement et a aussi été enroché en 2009. Finalement, en considérant ces résultats, il est difficile de ressortir une tendance générale des trois profils longitudinaux. Des erreurs proviennent inévitablement des valeurs lissées et d'un possible décalage de quelques mètres entre les données. De plus, les trois relevés résultent d'instruments et de manipulateurs différents. Par conséquent, il serait intéressant de mesurer une seconde fois l'élévation du lit pour comparer les données avec celles 2012.

CONCLUSION

La première phase du suivi hydromorphologique du cours d'eau Bonhomme-Morency s'est effectuée de l'automne 2010 au printemps 2012. Quatre objectifs spécifiques ont été identifiés afin d'évaluer la trajectoire morphologique du cours d'eau.

Le premier objectif consistait à réaliser un bilan historique des procédures politiques et des événements anthropiques responsables des changements morphologiques dans le cours d'eau Bonhomme-Morency. Les faits historiques ont montré que le détournement d'une portion des eaux du ruisseau Renouf dans celui du Bonhomme-Morency a entraîné des réponses morphologiques majeures par une forte incision, un élargissement et des taux de transports de sédiments fins élevés. Il est difficile d'attribuer la diminution de la qualité des habitats aquatiques de la rivière Trois-Pistoles au fort apport sédimentaire du cours d'eau Bonhomme-Morency puisqu'aucune étude n'y a été réalisée avant et après le détournement. On suppose que le cumul de plusieurs perturbations anthropiques ayant eu lieu au XX^e siècle expliquerait la baisse des populations de faune aquatique d'envergure économique dans la rivière Trois-Pistoles.

Les plans de stabilisation du cours d'eau Bonhomme-Morency ont été réalisés sans considérations géomorphologiques. Aucune connaissance sur l'impact de tels aménagements sur les rivières de l'Est-du-Québec n'existe. L'enrochement, ayant eu lieu à l'hiver 2009, fut conçu dans l'objectif d'être stable, de se colmater et de limiter tout changement géomorphologique importants. Par conséquent, le suivi hydromorphologique avait pour but d'évaluer l'atteinte des objectifs de stabilisation et la présence de réponses morphologiques depuis l'enrochement de 2009. La trajectoire morphologique a été étudiée pour comprendre l'influence des composantes géomorphologiques et leur évolution dans le temps.

Le deuxième objectif de l'étude était basé sur la stabilité du matériel d'enrochement. Les résultats du suivi suggèrent peu de changements dans le cours d'eau Bonhomme-Morency durant les deux années d'étude. Le suivi des déplacements de traceurs a montré que les pierres de l'enrochement de 2009 sont stables. Seul l'enrochement datant de 2004, en aval, est dynamique. Au fil des années, le déplacement de ces pierres pourrait entraîner une érosion régressive et ainsi affecter l'enrochement de 2009 en amont. De plus, la morphologie de l'enrochement mobilisé pourrait tendre vers un style fluvial de marches-cuvettes puisque les caractéristiques du cours d'eau Bonhomme-Morency s'apparentent à celles des petits cours d'eau montagnards. Le suivi des traceurs doit donc être poursuivi pour comprendre l'évolution de sa morphologie et de sa stabilité.

Le troisième objectif était d'étudier l'évolution du colmatage de l'enrochement. Peu de changements se sont produits dans les sections transversales. La section transversale ayant subi la plus grande augmentation est située au pied d'un versant très actif qui lui sert de source de sédiments. Une autre section, située près de l'affleurement rocheux et dans une rupture de pente, est fortement colmatée depuis 2010. Ce colmatage augmentera possiblement vers l'aval dans quelques années. La présence de zones fortement colmatées au pied des versants montre que l'érosion permet l'apport direct de sédiments vers le tronçon. De plus, le recul des parois argileuses montre que l'érosion est toujours présente. Il est toutefois difficile de quantifier cet apport et d'évaluer son retour à l'équilibre. La continuité du suivi permettra d'évaluer un taux de recul et de comprendre davantage son dynamisme. Aussi, la poursuite de l'étude de l'évolution du colmatage dans le tronçon enroché permettra d'examiner les secteurs ayant un plus grand potentiel de colmatage et de voir si l'écoulement se fait plus fréquemment en surface.

Le quatrième objectif était d'examiner la qualité des habitats dans le tronçon aménagé par le biais d'indicateurs biologiques. Les résultats montrent que les stations perturbées par l'enrochement sont dans un état de santé marginal et pauvre comparativement aux stations non touchées par l'enrochement. Il est toutefois difficile de tirer des conclusions avec seulement trois saisons d'échantillonnage rapprochées. En effet, plusieurs facteurs, n'étant pas nécessairement liés à l'impact de l'enrochement (climatiques, physico-chimiques et physiques), influencent l'assemblage des communautés de macroinvertébrés et jouent sur

les résultats des indices. Il importe de continuer le suivi de qualité des habitats afin de comparer la composition des communautés benthiques échantillonnées et de voir s'il y a des changements au fil des années.

La présente étude montre que l'histoire du cours d'eau Bonhomme-Morency est à l'origine de décisions prises dans le passé qui n'intégraient pas la dynamique du système et le développement durable. Selon les connaissances d'aujourd'hui, la problématique d'inondation au centre-ville de Trois-Pistoles, dans les années 70, aurait pu être gérée de façon différente. Un changement dans les perceptions environnementales du gouvernement doit s'instaurer. Les impacts des aménagements sur les habitats fauniques et sur les risques naturels doivent être davantage considérés. Ainsi, en poursuivant l'éducation de la population sur les principes de la géomorphologie fluviale et en augmentant la formation de spécialistes de cette discipline, les rivières du Québec pourront, un jour, être gérées selon leur espace de liberté et leur temps d'ajustements.

De plus, pour atteindre cet objectif, nous nous devons d'approfondir les connaissances sur la dynamique des cours d'eau soumis au processus fluvioglaciels, dans un contexte de changements globaux. La fréquence et l'amplitude des événements extrêmes risquent d'augmenter au fil des années et entraîner de nombreux impacts sur la dynamique des cours d'eau et sur la gestion des risques. De ce fait, une attention particulière doit être faite sur les réponses des cours d'eau et sur leurs trajectoires morphologiques afin de mieux comprendre les systèmes et les conséquences qu'ils peuvent engendrer. En améliorant les connaissances, en intégrant la gestion adaptative et en implantant des programmes de suivi, il sera possible de mieux prévenir les risques pour l'humain (inondations, érosion, bris d'infrastructures, etc.). Les processus de gestion doivent avoir la capacité de s'adapter, par le biais de l'apprentissage reçu par le système fluvial, tout en agissant de façon proactive. Il faut intégrer les valeurs locales, politiques, sociales, culturelles, esthétiques et écologiques, l'évolution et la complexité d'un cours d'eau, et la collaboration entre la science et les valeurs des communautés. Les efforts dans la gestion adaptative sont mis pour comprendre le système initial et le système modifié vers l'atteinte d'objectifs de gestion durable et efficace.

Le Québec doit se munir de programmes de suivi pour étudier la variabilité spatiale et temporelle de la qualité de l'eau et des habitats à la suite d'un aménagement. En procédant ainsi, la société québécoise pourra se doter d'aménagements plus efficaces, plus esthétiques et plus durables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allan, J. C., R. Hart & J. V. Tranquili, 2006. The use of Passive Integrated Transponder (PIT) tags to trace cobble transport in a mixed sand-and-gravel beach on the high-energy Oregon coast, USA. *Marine Geology*, 232: 63–86.
- Angradi, T. R., 1999. Fine Sediment and Macroinvertebrate Assemblages in Appalachian Streams: A Field Experiment with Biomonitoring Applications. *Journal of the North American Benthological Society*, 18: 49–66.
- Assani, A. A., F. Lajoie & C. Laliberté, 2007. Impacts des barrages sur les caractéristiques des débits moyens annuels en fonction du mode de gestion et de la taille des bassins versants au Québec. *Revue des Sciences de L'eau*, 20: 127.
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder & J. B. Stribling, 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable rivers. USEPA, Washington, 339 p.
- Bauer, S. B. & S. C. Ralph, 1999. Aquatic habitat indicators and their application to water quality objectives within the Clean Water Act. United States Environmental Protection Agency Region 10, Seattle Washington, 114 p.
- Beechie, T. J., M. M. Pollock & S. Baker, 2008. Channel incision, evolution and potential recovery in the Walla Walla and Tucannon River basins, northwestern USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33: 784–800.
- Bélanger, S., D. Robitaille & C. Thibault, 2007. Stabilisation du ruisseau Bonhomme-Morency, Informations et considérations techniques. Service de la Géotechnique et de la Géologie, Sections mouvements de terrain, Ministère des Transports du Québec, Québec, 8 p.
- Bernatchez, P. & J. M. . Dubois, 2010. Seasonal Quantification of Coastal Processes and Cliff Erosion on Fine Sediment Shorelines in a Cold Temperate Climate, North Shore of the St. Lawrence Maritime Estuary, Québec. *Journal of Coastal Research*, 24: 169–180.
- Bertran, P. & J. Texier, 1994. Structures Sédimentaires d'un Cône de Flots de Débris (Vars, Alpes Françaises Méridionales). *Permafrost and Periglacial Processes*, 5: 155–170.
- Bevenger, G. S., R. M. King & R. M. Forest, 1995. A pebble count procedure for assessing watershed cumulative effects. US Dept. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado, 19 p.
- Bode, R. W., M. A. Novak & L. E. Abele, 1991. Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State. Stream Biomonitoring unit Bureau of

Monitoring and Assessment Division of Water NYS Department of Environmental Conservation 50 Wolf Road Albany, NY 12233-3503, 92 p.

- Bouffard, M., 2008. Demande d'autorisation et de certificat d'autorisation. AECOM.
- Bourassa, M.-A., 2005. Caractérisation de la frayère et du bassin versant de la rivière Trois-Pistoles. Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec, 81 p.
- Bravard, J. P., N. Landon, J. L. Peiry & H. Piegay, 1999. Principles of engineering geomorphology for managing channel erosion and bedload transport, examples from French rivers. *Geomorphology*, 31: 291–311.
- Brierley, G. & K. Fryirs, 2008a. Space, place and a healthy dose of realism: grounding the process of river repair. Fourth ECRR Conference on River Restoration, Restoration and Management of Physical Processes and Sediments, Chapitre 6: 381–390.
- Brierley, G., K. Fryirs, D. Outhet & C. Massey, 2002. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. *Applied Geography*, 22: 91–122.
- Brierley, G. J. & K. A. Fryirs, 2005. *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. Wiley-Blackwell, Malden, Mass, 398 p.
- Brierley, G. J. & K. A. Fryirs, 2008b. Moves toward an era of river repair, pp. 3–15. Dans *River futures: an integrative scientific approach to river repair*. G. J. Brierley, K. A. Fryirs. Island Press, Washington, D.C., É-U.
- Brierley, G. J., K. A. Fryirs, A. Boulton & C. Cullum, 2008. Working with change: the importance of evolutionary perspectives in framing the trajectory of river adjustment, pp. 65–84. Dans *River futures: an integrative scientific approach to river repair*. G. J. Brierley, K. A. Fryirs (Éditeurs). Island Press, Washington, D.C., É-U.
- Buffington, J. M., 2012. Changes in Channel Morphology Over Human Time Scales, pp. 433–463. Dans *Gravel-Bed Rivers: Processes, Tools, Environments*. M. Church, P. M. Biron & A. G. Roy (Éditeurs), Wiley, Chichester, UK.
- Buffington, J. M. & D. R. Montgomery, 1999. Effects of hydraulic roughness on surface textures of gravel-bed rivers. *Water Resources Research*, 35: 3507–3521.
- CEHQ, 2005. Réflexion sur les solutions durables aux problèmes d'érosion observés le long du ruisseau sans nom (Bonhomme-Morency). Page 8. Centre d'expertise hydrique du Québec, Québec, 8 p.
- Charlton, R., 2008. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge, Abingdon, Oxon, 275 p.
- Chiew, Y.-M., 1995. Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121: 635.
- Church, M., 2006. Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 34: 325.

- Clarke, A., R. M. Nally, N. Bond & P. S. Lake, 2010. Flow permanence affects aquatic macroinvertebrate diversity and community structure in three headwater streams in a forested catchment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67: 1649–1657.
- Clifford, N. J., 2007. River restoration: paradigms, paradoxes and the urban dimension. *Water Science and Technology: water supply*, 7: 57–68.
- Comiti, F., L. Mao, M. A. Lenzi & M. Siligardi, 2009. Artificial steps to stabilize mountain rivers: a post-project ecological assessment. *River Research and Applications*, 25: 639–659.
- Conesa-García, C. & R. García-Lorenzo, 2009. Local scour estimation at check dams in torrential streams in southeast Spain. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 91: 159–177.
- Couper, P. R. & I. P. Maddock, 2001. Subaerial river bank erosion processes and their interaction with other bank erosion mechanisms on the River Arrow, Warwickshire, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 631–646.
- Delcros, P., M. Bouffard, M. Burylo & F. Rey, 2009. TLALOC: un modèle spatio-temporel de la dynamique des communautés végétales en lien avec la dynamique érosive et sédimentaire de ravines marneuses. *Ingénieries-EAT*: 121–134.
- Desloges, J. R. & M. Church, 1987. Channel and floodplain facies in a wandering gravel-bed river, vol. 39, pp. 99–109. Dans *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*. F. G. Ethridge, R. M. Flores & M. D. Harvey (Éditeurs), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication.
- Dionne, J.-C. & R. Héroux, 1966. Cartes morpho-sédimentologiques du Bas-Saint-Laurent/Gaspésie. Mont-Joli, cartes manuscrites à 1 / 50 000 (originaux à OPDQ et chez le premier auteur).
- Downs, P. & K. Gregory, 2004. *River Channel Management; Towards Sustainable Catchment Hydrosystems*. Arnold. London, 305 p.
- Downs, P. W. & G. M. Kondolf, 2002. Post-project appraisals in adaptive management of river channel restoration. *Environmental Management*, 29: 477–496.
- Elliott, J. G., A. C. Gellis & S. B. Aby, 1999. Evolution of arroyos: Incised channels of the southwestern United States, pp. 153–186. Dans *Incised Channels: Processes, Forms, Engineering, and Management*. S.E. Darby & A. Simon (Éditeurs), John Wiley & Sons Inc. Royaume-Uni.
- Evette, A., S. Baker, F. Rey, F. Liebault, O. Jancke & J. Girel, 2009. History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe. *Environmental Management*, 43: 972–984.

- Feminella, J. W., 1996. Comparison of Benthic Macroinvertebrate Assemblages in Small Streams along a Gradient of Flow Permanence. *Journal of the North American Benthological Society*, 15: 651–669.
- Forget, C., 2012a. Entrevue avec Mme Claudine Forget, biologiste au Ministère de Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs.
- Fryirs, K. & G. J. Brierley, 2009. Naturalness and place in river rehabilitation. *Ecology and Society*, 14: 20.
- Gallegos, C. L., T. E. Jordan & D. L. Correll, 1992. Event-Scale Response of Phytoplankton to Watershed Inputs in a Subestuary: Timing, Magnitude, and Location of Blooms. *Limnology and Oceanography*, 37: 813–828.
- Gilvear, D. J., 1999. Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework. *Geomorphology*, 31: 229–245.
- Gintz, D., M. A. Hassan & K.-H. Schmidt, 1996. Frequency and Magnitude of Bedload Transport in a Mountain River. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 433–445.
- Goyette, S., 2011. Entrevue avec M. Simon Goyette, ingénieur civil chez AECOM.
- Grant, G. E., F. J. Swanson & M. G. Wolman, 1990. Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades, Oregon. *Bulletin of the Geological Society of America*, 102: 340.
- Gregory, K. J., G. Benito & P. W. Downs, 2008. Applying fluvial geomorphology to river channel management: Background for progress towards a palaeohydrology protocol. *Geomorphology*, 98: 153–172.
- Gurnell, A., N. Surian & L. Zanoni, 2009. Multi-thread river channels: A perspective on changing European alpine river systems. *Aquatic Sciences*, 71: 253–265.
- Habron, G., 2003. Role of adaptive management for watershed councils. *Environmental Management*, 31: 29–41.
- Hébert, S., 1997. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, 24 p.
- Hermans, C., J. Erickson, T. Noordewier, A. Sheldon & M. Kline, 2007. Collaborative environmental planning in river management: an application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont. *Journal of Environmental Management*, 84: 534–546.
- Hillman, T., L. Crase, B. Furze, J. Ananda & D. Maybery, 2005. Multidisciplinary Approaches to Natural Resource Management. *Hydrobiologia*, 552: 99–108.
- Hilsenhoff, W. L., 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, 7: 65–68.

- Huisman, J., 1999. Population Dynamics of Light-Limited Phytoplankton: Microcosm Experiments. *Ecology*, 80: 202–210.
- Jacob, N., 2001. Séquence, intensité et déclenchement des coulées de débris en milieu forestier, Gaspésie septentrionale, Québec. Mémoire de maîtrise en sciences géographiques, Faculté des études supérieures de l'Université Laval, 76 p.
- Johnson, R. M. & J. Warburton, 2002. Annual Sediment Budget of a UK Mountain Torrent. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 84: 73–88.
- Karr, J. R., 1999. Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*, 41: 221–234.
- Karr, J. R. & E. W. Chu, 1999. Restoring life in running waters: better biological monitoring. Island Press, Washington, D.C., É-U, 206 p.
- Kilgore, R. T. & G. K. Cotton, 2005. Design of Roadside Channels with Flexible Linings, Hydraulic Engineering Circular Number 15. Federal Highway Administration. <http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/05114/hecl1517007.cfm>.
- Kingsford, R. t., 2000. Ecological impacts of dams, water diversions and river management on floodplain wetlands in Australia. *Austral Ecology*, 25: 109–127.
- Klein, L. R., S. R. Clayton, J. R. Alldredge & P. Goodwin, 2007. Long-Term Monitoring and Evaluation of the Lower Red River Meadow Restoration Project, Idaho, U.S.A. *Restoration Ecology*, 15: 223–239.
- Knighton, A. D., 1999. Downstream variation in stream power. *Geomorphology*, 29: 293–306.
- Knighton, D., 1998. Fluvial forms and processes: a new perspective. Arnold London, 218 p.
- Kondolf, G. M., 1995. Five elements for effective evaluation of stream restoration. *Restoration Ecology*, 3: 133–136.
- Kondolf, G. M. & E. R. Micheli, 1995. Evaluating stream restoration projects. *Environmental Management*, 19: 1–15.
- Kondolf, G. M. & H. Piégay, 2003. Tools in fluvial geomorphology. John Wiley and Sons, England, Chapt. 1, pp. 3–22.
- Laasonen, P., T. Muotka & I. Kivijärvi, 1998. Recovery of macroinvertebrate communities from stream habitat restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 8: 101–113.
- Lamarre, H., B. MacVicar & A. G. Roy, 2005. Using passive integrated transponder (PIT) tags to investigate sediment transport in gravel-bed rivers. *Journal of Sedimentary Research*, 75: 736.
- Lane, E. W., 1955. Design of stable channels. *Transactions for the American Society of Civil Engineers*, 120: 1234–1260.

- Lane, S. N. & K. S. Richards, 1997. Linking River Channel Form and Process: Time, Space and Causality Revisited. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 249–260.
- Lane, S. N., K. S. Richards & J. H. Chandler, 1996. Discharge and sediment supply controls on erosion and deposition in a dynamic alluvial channel. *Geomorphology*, 15: 1–15.
- Larson, K. L. & D. Lach, 2008. Participants and non-participants of place-based groups: An assessment of attitudes and implications for public participation in water resource management. *Journal of Environmental Management*, 88: 817–830.
- Lavallée, D., 2008. Enrochement de protection pour la stabilisation du ruisseau Bonhomme-Morency. Page 11. Ministère des Transports du Québec, 11 p.
- Lavoie, C., 2013. Entrevue avec M. Christian Lavoie, chargé de projets à la Direction des barrages publics du Centre d'expertise hydrique du Québec.
- Leblond, A., 2012. Entrevue avec M. André Leblond, ancien maire de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges et préfet de la MRC des Basques.
- Leeder, M. R., 1983. On the interactions between turbulent flow, sediment transport and bedform mechanics in channelized flows. *Modern and Ancient Fluvial Systems*, 6: 5–18.
- Lenat, D. R., 1988. Water Quality Assessment of Streams Using a Qualitative Collection Method for Benthic Macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 7: 222–233.
- Lenzi, M. A., 2002. Stream bed stabilization using boulder check dams that mimic step-pool morphology features in Northern Italy. *Geomorphology*, 45: 243–260.
- Lenzi, M. A., 2004. Displacement and transport of marked pebbles, cobbles and boulders during floods in a steep mountain stream. *Hydrological Processes*, 18: 1899–1914.
- Li, M.-H. & K. E. Eddleman, 2002. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: A biotechnical streambank stabilization design approach. *Landscape and Urban Planning*, 60: 225–242.
- Liébault, F., 2012. Communication personnelle sur le site à Réal, cours d'eau torrentiel dans les Alpes-Maritimes. Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (Irstea), France.
- Malavoi, J. R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*: 189–210.
- MDDEFP, 2002. La gestion intégrée de l'eau par bassin versant. Ministère de Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs : <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/index.htm>, .
- MDDEFP, 2009. Communiqué de presse - Protection de l'eau : L'eau, toujours une priorité pour le gouvernement. Ministère de Développement durable, de l'Environnement, de

la Faune et des Parcs :
<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/infuseur/communiquer.asp?No=1463>, .

- Mercier, J.-F. & S. Goyette, 2008. Stabilisation du ruisseau Bonhomme-Morency, Municipalité de Notre-Dame-des-Neiges. Rivière-du-Loup, Québec, 42 p.
- Merritt, R. W. & K. W. Cummins, 1996. An introduction to the aquatic insects of North America, 3e éd. Kendall/Hunt Publishing Co. Dubuque, Iowa, 441 p.
- Milhous, R. T., 1998. Modelling of instream flow needs: the link between sediment and aquatic habitat. *Regulated Rivers: Research and Management*, 14: 79–94.
- Moisan, J., 2010. Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 - Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-58416-2 (version imprimée), 82 p.
- Moisan, J. & L. Pelletier, 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec - Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-53591-1 (version imprimée), 86 p.
- Montgomery, D. R. & J. M. Buffington, 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109: 596–611.
- Montgomery, D. R. & J. M. Buffington, 1998. Channel processes, classification, and response, pp. 13-42. Dans *River Ecology and Management*. Springer-Verlag. R. Naiman & R. Bilby (Éditeurs), New York.
- Montgomery, D. R. & L. H. MacDonald, 2002. Diagnostic Approach to Stream Channel Assessment and Monitoring. *Journal of the American Water Resources Association*, 38: 1–16.
- MRC des Basques, 2007. Communiqué de presse - Bonhomme Morency. 2 p.
- Muzaffar, S. B. & M. H. Colbo, 2002. The effects of sampling technique on the ecological characterization of shallow, benthic macroinvertebrate communities in two Newfoundland ponds. *Hydrobiologia*, 477: 31–39.
- n.d., 2000. Devis technique. Direction de l'hydraulique et de l'hydrique, Service de la surveillance et de l'entretien des barrages, Ministère de l'Environnement du Québec, 8 p.
- Nakamura, F., 1986. Chronological study on the torrential channel bed by the age distribution of deposits. *Research Bulletins of the College Experiment Forests*, 43: 1–25.

- Newcombe, C. P. & J. O. Jensen, 1996. Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management*, 16: 693–727.
- Newson, M. D. & A. R. G. Large, 2006. “Natural” rivers, “hydromorphological quality” and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 1606–1624.
- OBVNEBSL, 2011. Portrait préliminaire de la zone. Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-Saint-Laurent, Rimouski, Québec, 110 p.
- Osmundson, D. B., R. J. Ryel, V. L. Lamarra & J. Pitlick, 2002. Flow-sediment-biota relations: implications for river regulation effects on native fish abundance. *Ecological Applications*, 12: 1719–1739.
- Pahl-Wostl, C., J. Sendzimir, P. Jeffrey, J. Aerts, G. Berkamp & K. Cross, 2007. Managing change toward adaptive water management through social learning. *Ecology and Society*, 12: 30.
- Palmer, M. A., C. A. Reidy Liermann, C. Nilsson, M. Flörke, J. Alcamo, P. S. Lake & N. Bond, 2008. Climate change and the world’s river basins: anticipating management options. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6: 81–89.
- Pinckney, J. L., D. F. Millie, B. T. Vinyard & H. W. Paerl, 1997. Environmental controls of phytoplankton bloom dynamics in the Neuse River Estuary, North Carolina, U.S.A. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 2491–2501.
- Poff, N. L., 1997. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 16: 391–409.
- Pollock, M. M., T. J. Beechie & C. E. Jordan, 2007. Geomorphic changes upstream of beaver dams in Bridge Creek, an incised stream channel in the interior Columbia River basin, eastern Oregon. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1174–1185.
- Prosser, I. P., A. O. Hughes & I. D. Rutherford, 2000. Bank erosion of an incised upland channel by subaerial processes: Tasmania, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 1085–1101.
- Quinn, J. M., A. B. Cooper, R. J. Davies-Colley, J. C. Rutherford & R. B. Williamson, 1997. Land use effects on habitat, water quality, periphyton, and benthic invertebrates in Waikato, New Zealand, hill-country streams. *Journal of Marine and Freshwater Research*, 31: 579–597.
- Réal Lajoie & Associés, 1973. Canalisation du ruisseau Renouf, Rivière-du-Loup, Québec, 11 p.
- Rey, F., D. Vallauri & C. Chauvin, 2001. Génie écologique contre l’érosion des marnes dans les Alpes du Sud. *Ingénieries-EAT*: 41–55.
- Rheault, B., 2012. Entrevue avec M. Benoît Rheault, aménagiste à la MRC des Basques.

- Rinaldi, M., C. Simoncini & H. Piégay, 2009. Scientific design strategy for promoting sustainable sediment management: the case of the Magra River (Central-Northern Italy). *River Research and Applications*, 25: 607–625.
- Sear, D. A., C. E. Millington, D. R. Kitts & R. Jeffries, 2010. Logjam controls on channel: floodplain interactions in wooded catchments and their role in the formation of multi-channel patterns. *Geomorphology*, 116: 305–319.
- Shields, F. D., C. M. Cooper, S. S. Knight & M. T. Moore, 2003. Stream corridor restoration research: a long and winding road. *Ecological Engineering*, 20: 441–454.
- Simon, A., A. Curini, S. E. Darby & E. J. Langendoen, 2000. Bank and near-bank processes in an incised channel. *Geomorphology*, 35: 193–217.
- Simon, A. & M. Rinaldi, 2006a. Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology*, 79: 361–383.
- Simon, A. & M. Rinaldi, 2006b. Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology*, 79: 361–383.
- Smith, C. L., J. Gilden, B. S. Steel & K. Mrakovcich, 1998. Sailing the shoals of adaptive management: the case of salmon in the Pacific Northwest. *Environmental Management*, 22: 671–681.
- Spink, A., K. Fryirs & G. Brierley, 2009. The relationship between geomorphic river adjustment and management actions over the last 50 years in the Upper Hunter Catchment, NSW, Australia. *River Research and Applications*, 25: 904–928.
- Spink, A., M. Hillman, K. Fryirs, G. Brierley & K. Lloyd, 2010. Has river rehabilitation begun? Social perspectives from the Upper Hunter catchment, New South Wales, Australia. *Geoforum*, 41: 399–409.
- Surian, N. & M. Rinaldi, 2003. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50: 307–326.
- Thorne, C. R., R. G. Allen & A. Simon, 1996. Geomorphological river channel reconnaissance for river analysis, engineering and management. *Transactions of the Institute of British Geographers*, pp. 469–483, 21.
- Thorp, J. H. & A. P. Covich, 2001. *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*. Academic Press, San Diego, California, É-U, 950 p.
- Tremblay, A. R., O. Tremblay & J.-J. Perron, 1974. Ruisseau Renouf à Trois-Pistoles - Étude préliminaire pour solutionner les problèmes hydrauliques de ce cours d'eau, ENVIRODOC 010071, 16 p.
- Van Steijn, H., J. De Ruig & F. Hoozemans, 1988. Morphological and mechanical aspects of debris flows in parts of the French Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 32: 143–161.

- VanDine, D. F. & M. Bovis, 2002. History and goals of Canadian debris flow research, a review. *Natural Hazards*, 26: 67–80.
- Wang, Z., Z. Wang & H. J. de Vriend, 2008. Impact of water diversion on the morphological development of the Lower Yellow River. *International Journal of Sediment Research*, 23: 13–27.
- Ward, J. V., 1975. Bottom Fauna-Substrate Relationships in a Northern Colorado Trout Stream: 1945 and 1974. *Ecology*, 56: 1429–1434.
- Watson, C. C., D. S. Biedenharn & B. P. Bledsoe, 2002. Use of incised channel evolution models in understanding rehabilitation alternatives. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 38: 151–160.
- Whiting, P. J., W. E. Dietrich, L. B. Leopold, T. G. Drake & R. L. Shreve, 1988. Bedload sheets in heterogeneous sediment. *Geology*, 16: 105.
- Williams, G. P. & M. G. Wolman, 1984. Downstream effects of dams on alluvial rivers US Geological Survey Professional Paper 1286. Washington, D.C., 83 p.
- Yoder, C. O. & E. T. Rankin, 1998. The role of biological indicators in a state water quality management process. *Environmental Monitoring and Assessment*, 51: 61–88.

ANNEXES

ANNEXE A

FICHE UTILISÉE POUR L'ÉVALUATION DE L'INDICE DE QUALITÉ DES
HABITATS DANS LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE DE MACROINVERTÉBRÉS
DES COURS D'EAU BONHOMME-MORENCY ET RENOUF(ADAPTÉ DE MOISAN
& PELLETIER 2008)

Cours d'eau : _____
 Observateur : _____
 Date : _____ Heure : _____

N° de station : _____
 Coord. GPS (NAD 83) _____
 _____ latitude nord
 _____ longitude ouest

TOTAL: /200

Paramètre de l'habitat	CATÉGORIES			
	optimale	sous-optimale	marginale	pauvre
1-substrat benthique – disponibilité des abris	> 70 % du substrat est favorable pour la colonisation du benthos. Diversité d'habitats associée aux différentes dimensions des particules du substrat (ex. : galets, blocs, etc.)	40 à 70 % de mélange d'habitats stables prêts pour la colonisation; habitat adéquat pour maintenir les populations.	20 à 40 % de mélange d'habitats stables et prêts pour la colonisation; présence d'habitats insuffisante; substrat fréquemment perturbé ou enlevé.	< 20 % d'habitats stables; manque d'habitats évident; substrat instable ou inexistant.
pointage	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
2-Ensemblement – envasement (observation à effectuer au centre d'un seuil)	Graviers, galets et blocs sont enfouis de 0 à 25 % dans les sédiments fins. La disposition des roches offre une diversité d'espaces-niches.	Graviers, galets et blocs sont enfouis de 25 à 50 % dans les sédiments fins.	Graviers, galets et blocs sont enfouis de 50 à 75 % dans les sédiments fins.	Graviers, galets et blocs sont enfouis de > 75 % dans les sédiments fins.
pointage	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
3- Régime vitesse – profondeur	4 régimes de vitesse-profondeur présents (lent-peu profond, lent-profond, rapide-peu profond, rapide-profond).	Seulement 3 des 4 régimes de vitesse-profondeur présents (si le régime rapide-peu profond est absent, le pointage est plus bas que lorsqu'un autre est absent).	Seulement 2 des 4 régimes de vitesse-profondeur présents (si le régime rapide-peu profond ou lent-peu profond sont absents, le pointage est plus bas).	1 régime vitesse-profondeur dominant (hab. lent-profond).
N.B. lent < 0,3 m/s, profond > 0,5 m				
pointage	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
4- Sédimentation	Peu ou pas d'élargissement des lits et des zones de dépôt et < 5 % du fond touché par le dépôt de sédiments.	Léger accroissement des zones de dépôt existantes (majoritairement du gravier, du sable et des sédiments fins); 5 à 30 % du fond touché; peu de dépôt dans les fosses.	Dépôts modérés de nouveau gravier, sable et sédiments fins sur les zones de dépôt existantes ou nouvelles; 30 à 50 % du fond touché; sédimentation où il y a obstruction, constriction, dans les coudes; dépôts modérés dans les fosses.	Accumulation importante de sédiments fins dans les zones de dépôt existantes et nouvelles; > 50 % du fond change fréquemment; fosses presque absentes en raison de l'apport sédimentaire important.
pointage	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
5- Degré de marnage	L'eau atteint la marge inférieure des berges et très peu de substrat du lit du cours d'eau est exposé.	L'eau est présente dans > 75 % du lit; ou < 25 % du substrat est exposé.	L'eau est présente dans 25 à 50 % du lit et/ou le substrat des sections rapides est presque entièrement exposé.	Très peu d'eau dans le lit; eau stagnante et concentrée dans des fosses.
pointage	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0

PARAMÈTRES À ÉVALUER À LA STATION (100 m)

PARAMÈTRES À ÉVALUER À LA STATION (+ de 100 m - vue d'ensemble vers l'amont)


Paramètre de l'habitat	CATÉGORIES																																																						
	optimale					sous-optimale					marginale					pauvre																																							
6-Modification du cours d'eau	Canalisation, soutènement ou dragage absent ou minimal; cours d'eau normal.					Quelques canalisations présentes habituellement dans la zone d'emprise de ponts; évidence de dragage ou de canalisation d'il y a plus de 20 ans, mais rien de récent.					Canalisation peut être importante; remblai ou mur présent sur les 2 berges; 40 à 80 % de la station canalisée ou modifiée.					Berges soutenues par des gabions ou du ciment; > 80 % de la station canalisée ou perturbée. Habitats grandement altérés ou détruits.																																							
pointage	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0																																		
7-Fréquence des seuils	Seuils fréquents. Distance ¹ entre les seuils + largeur ² < 7 (gén. 5 à 7); la variété des habitats est la clé. Dans les cours d'eau où les seuils sont continus, la présence de blocs ou autres gros débris naturels est importante.					Seuils peu fréquents. Distance ¹ entre les seuils + largeur ² = de 7 à 15.					Seuils ou courbes occasionnels; la variation de niveau du fond procure quelques habitats. Distance entre les seuils + largeur ² = de 15 à 25.					Généralement eau calme ou seuils peu profonds; habitat pauvre; distance ¹ entre les seuils + largeur ² > 25.																																							
distance ¹ = distance moyenne																																																							
largeur ² = largeur du cours d'eau																																																							
pointage	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	8	5	4	3	2	1	0																																		
8- Stabilité des berges	Berges stables; érosion des berges absente ou minimale; peu de probabilité de problèmes futurs. < 5 % de berges touchées.					Berges modérément stables; petites zones d'érosion peu fréquentes dont la plupart sont en régénération; 5 à 30 % de berges touchées.					Berges modérément instables; 30 à 60 % de berges du tronçon touchées; haut potentiel d'érosion durant les crues.					Instable; plusieurs endroits érodés; ravinement fréquent dans les sections droites ou courbes; effondrement évident de la berge; 60 à 100 % de la berge porte des marques d'érosion.																																							
pointage																																																							
rive droite	10					9					8					7					6					5					4					3					2					1					0				
rive gauche	10					9					8					7					6					5					4					3					2					1					0				
9- Protection végétale des berges	> 90 % de la berge adjacente est couverte par de la végétation naturelle à la région dont les arbres, arbustes ou plantes herbacées; perturbations dues au pâturage ou au fauchage minimales. Presque toutes les plantes croissent naturellement.					70 à 90 % de la berge adjacente est couverte par de la végétation naturelle à la région mais une classe est sous-représentée; perturbations évidentes mais ne nuisant pas au plein potentiel de croissance des plantes de façon importante; + de la moitié de la hauteur potentielle des tiges demeure.					50 à 70 % de la surface de la berge est couverte par de la végétation naturelle; perturbations évidentes : sections de sol nu ou de végétation taillée au ras du sol fréquente; la croissance des plantes est limitée à moins de la moitié de leur hauteur potentielle ou plantes herbacées dominant < 90 % (MODER).					< 50 % de la surface de la berge est couverte par de la végétation; perturbations majeures; la végétation est taillée à une hauteur moyenne de 5 cm ou moins.																																							
pointage																																																							
rive droite	10					9					8					7					6					5					4					3					2					1					0				
rive gauche	10					9					8					7					6					5					4					3					2					1					0				
10- Largeur de la bande végétale	Largeur de la bande végétale > 16 m; activités humaines (champs, accotement routier, coupe, etc.) inexistantes dans la zone.					Largeur de la bande végétale 12 à 16 m; activités humaines perturbent minimalement la zone.					Largeur de la bande végétale 6 à 12 m; activités humaines perturbent grandement la zone.					Largeur de la bande végétale < 6 m; peu ou pas de végétation riparienne à cause des activités humaines.																																							
pointage																																																							
rive droite	10					9					8					7					6					5					4					3					2					1					0				
rive gauche	10					9					8					7					6					5					4					3					2					1					0				

PARAMÈTRES À ÉVALUER À LA STATION (+ de 100 m - vue d'ensemble vers l'amont)

ANNEXE B

CORRESPONDANCES ENTRE LE GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, LA MRC DES
BASQUES, LA MUNICIPALITÉ DE NOTRE-DAME-DES-NEIGES ET LA VILLE DE
TROIS-PISTOLES

Annexe B.1 Lettre rédigée par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec (Direction générale des eaux) et adressée au directeur du Service de l'équipement de la Commission scolaire régionale du Grand-Portage, 26 septembre 1973.

 GOUVERNEMENT DU QUÉBEC MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX 1701 DU GOUVERNEMENT QUÉBEC	Québec, le 26 septembre 1973.
	Monsieur Albert Dubé, Directeur, Service de l'Équipement, Commission Scolaire Régionale du Grand-Portage, 464-A, rue Lafontaine, Rivière-du-Loup, QUÉBEC.
	Réf: Ruisseau Renouf à Trois-Pistoles Dossier: 3818/1968
	<p>Monsieur,</p> <p>La lettre que vous adressiez à notre ingénieur, monsieur Albert-Réal Tremblay, en date du 7 septembre courant, m'a été transmise pour que je lui donne suite et vous fasse connaître la position prise par le ministère des Richesses naturelles face aux problèmes causés par le ruisseau Renouf à Trois-Pistoles.</p> <p>Nous sommes heureux de vous informer que le ministère des Richesses naturelles a pris la décision d'intervenir techniquement et si possible financièrement pour régler les problèmes provoqués par les dérèglements hydrauliques du ruisseau Renouf, sur les terrains de la Commission Scolaire Régionale du Grand-Portage à Trois-Pistoles. Ceci à la condition qu'il ait reçu au préalable l'autorisation du conseil municipal de Trois-Pistoles par voie de résolution.</p> <p>Toutefois, le type de canalisation susceptible de répondre plus adéquatement aux exigences des Commissaires et du ministère de l'Éducation pourra éventuellement occasionner des coûts supplémentaires qui nécessiteront alors une participation financière de ces organismes. A cet effet, nous communiquerons avec vous prochainement.</p>
	.../2
CSR GRAND PORTAGE REÇU LE	OCT 173 16431

2.

Par ailleurs, dans nos recherches d'une solution au débordement du ruisseau Renouf, nous avons, pour des questions économiques d'abord et sociologiques par la suite, orienté celles-ci de la façon suivante:

Implanter dans le bassin supérieur du ruisseau des ouvrages de rétention et de dérivation dans le but de réduire suffisamment le débit de crue pour que, d'une part, on puisse éventuellement canaliser le ruisseau sur le terrain de l'école dans une conduite fermée préfabriquée de dimension standard (sept (7) pieds de diamètre ou moins) et, d'autre part, dans les limites de la ville, conserver les installations existantes.

Au stade actuel de nos études, nous croyons que ce type de solution est réalisable et ceci à un coût très inférieur à celui d'une simple canalisation du ruisseau Renouf, dans son tronçon inférieur. De plus, cette solution a l'avantage de régler les problèmes du débordement sans que les riverains aient à abandonner une partie de leur propriété ou à subir les désagréments d'un chantier à proximité de leur demeure.

En ce qui a trait aux échéances de construction, nous devons vous informer qu'il est impossible pour notre ministère d'intervenir avant l'été prochain, n'ayant pas les crédits disponibles actuellement. Cependant, tel que convenu, nous protégerons cet automne, c'est-à-dire dès que nous aurons obtenu l'autorisation de la municipalité, les assises du pilier de l'école qui menacent d'être déchaussées par l'écoulement. Pour sa part, la Commission Scolaire pourrait voir à ce que l'Hydro-Québec abaisse le plus tôt possible l'entrée électrique souterraine qui traverse le

.../3

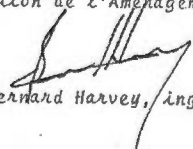


3.

ruisseau, suivant les spécifications décrites dans le document des ingénieurs-conseils Boucher, Pelletier & Associés en date du 16 août dernier.

Espérant que ces renseignements seront à votre satisfaction, je vous prie d'agréer, monsieur, l'expression de mes meilleurs sentiments.

le directeur par intérim,
Direction de l'Aménagement.



Bernard Harvey, ing.


ART/edc

c.: M. Marcel Grenier,
Ministère de l'Éducation.

M. Maurice Masse,
Directeur par intérim,
Service du Génie hydraulique.

Annexe B.2 Lettre rédigée par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec (Direction générale des eaux) et adressée au secrétaire-trésorier de la ville de Trois-Pistoles, 26 septembre 1973.

 GOUVERNEMENT DU QUÉBEC MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HÔTEL DU GOUVERNEMENT QUÉBEC	Québec, le 26 septembre 1973.
	Monsieur Gabriel Desjardins, Secrétaire-trésorier, Ville des Trois-Pistoles, Hôtel de Ville, C.P. 550, Trois-Pistoles, QUÉBEC.
Réf: Ruisseau Renouf à Trois-Pistoles Dossier: 3878/1968	
<p>Monsieur,</p> <p>Nous accusons réception de la résolution no 237 de votre conseil de ville, datée du 4 septembre courant, concernant une demande de participation financière du ministère des Richesses naturelles à la réalisation du projet de la firme d'ingénieurs-conseils Réal Lajoie & Associés dans le but de solutionner les problèmes de débordement du ruisseau Renouf à l'intérieur des limites de la municipalité, plus particulièrement sur le terrain de la Commission Scolaire Régionale du Grand-Portage à Trois-Pistoles.</p> <p>Permettez-nous d'abord de vous signaler qu'il n'est pas de la politique du ministère des Richesses naturelles d'accorder des subventions aux municipalités afin de défrayer en partie ou en tout le coût de travaux en rivières.</p> <p>De plus, après une analyse sommaire des diverses façons de résoudre le problème des dérèglements hydrauliques du ruisseau Renouf à Trois-Pistoles, nous ne sommes pas convaincus que la solution II de l'annexe du rapport de la firme d'ingénieurs-conseils Réal Lajoie & Associés, soit la "solution idéale". En plus d'être très dispendieuse - et l'on ne tient pas compte de l'abandon d'ouvrages hydrauliques existants: quatre (4) ponts, plus de 2,000 pieds de mur de soutènement en bon état, un lit de ruisseau relativement stable, des berges boisées -</p>	
.../2	



GOUVERNEMENT
DU QUÉBEC
 MINISTÈRE
DES RICHESSES
NATURELLES
 SECTION GÉNÉRALE
DES EAUX
 100, RUE DU GOUVERNEMENT
QUÉBEC

2.

la canalisation proposée corrige la situation dans la ville mais ne règle en rien celle qui prévaut sur le terrain de l'école situé en amont. D'autre part, votre projet semble attacher peu d'importance à la présence des riverains qui verront le terrain situé en arrière de leur demeure disparaître en partie ou en tout pour faire place à la nouvelle canalisation.

Pour ces raisons, le ministère des Richesses naturelles hésite à donner son plein accord à la réalisation des ouvrages proposés par vos ingénieurs-conseils.

Cependant, le ministère est disposé à vous offrir son aide technique et financière pour résoudre le problème du ruisseau Renouf mais de la façon qu'il jugera la plus adéquate et la plus économique suivant sa politique d'intervention pour corriger des situations semblables à la vôtre.

Pour votre information, parmi les solutions que nous avons envisagées celle qui, pour le moment, nous semble la plus valable, consiste essentiellement à implanter dans le bassin supérieur du ruisseau des ouvrages de rétention et de dérivation dans le but de réduire suffisamment le débit de crue pour que, d'une part, on puisse éventuellement canaliser le ruisseau sur le terrain de l'école dans une conduite fermée préfabriquée de dimension standard (sept (7) pieds de diamètre ou moins) et, d'autre part, dans les limites de la ville, conserver les installations existantes.

Au stade actuel de nos études, nous croyons que ce type de solution est réalisable et ceci à un coût très inférieur à celui d'une simple canalisation du ruisseau Renouf, dans son tronçon inférieur. De plus, cette solution a l'avantage de régler les problèmes du débordement sans que les riverains aient à abandonner une partie de leur propriété ou à subir les désagréments d'un chantier à proximité de leur demeure.

.../3



GOUVERNEMENT
DU QUÉBEC
MINISTÈRE
DES RICHESSES
NATURELLES
RECTION GÉNÉRALE
DES EAUX
ÔTEL DU GOUVERNEMENT
QUÉBEC

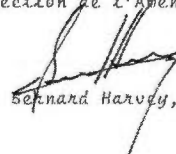
3.

Si les autorités municipales de Trois-Pistoles donnent leur accord à un projet de ce genre, nous entreprendrons alors les procédures pour que les argents nécessaires à la réalisation de ces travaux nous soient accordés par le Conseil du Trésor. Nous comptons aussi sur la participation de votre municipalité.

Comme nos prévisions budgétaires pour 1974 se préparent au cours du mois de novembre, nous vous serions gré de faire diligence et d'appuyer votre requête d'une résolution du conseil.

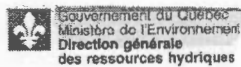
Espérant que ces renseignements seront à votre satisfaction, je vous prie d'agréer, monsieur, l'expression de mes meilleurs sentiments.

Le directeur par intérim,
Direction de l'Aménagement.


Bernard Harvey, Ing.

ART/edc

Annexe B.3 Lettre rédigée par le Ministère de l'Environnement du Québec (Direction générale des ressources hydriques) et adressée au directeur général de la ville de Trois-Pistoles, et entente entre le Ministère de l'Environnement et la ville de Trois-Pistoles, 26 janvier 1987.



Sainte-Foy, le 26 janvier 1987

Monsieur Gabriel Desjardins, o.m.a.
Ville de Trois-Pistoles
Trois-Pistoles (Québec)
GOL 4X0

Dossier: 4141-03-03-2650000

Monsieur,

La présente fait suite à votre lettre du 26 novembre dernier et à notre récente conversation téléphonique concernant la surveillance et l'opération des ouvrages de dérivation du ruisseau Renouf.

Tel que convenu je vous transmets une copie de l'entente intervenue sur le sujet entre le ministère de l'Environnement et la ville de Trois-Pistoles. Pour donner suite à cette entente, nous aimerions qu'une inspection hebdomadaire soit effectuée durant les mois de mars, avril et mai et que vous nous transmettiez un rapport du gardien à la fin de chaque mois. M. Jacques Tremblay pourra indiquer, à la personne que vous désignerez pour effectuer cette inspection, la façon de remplir ce rapport dont vous trouverez quelques exemplaires annexés à la présente. En dehors de la période critique de la fonte des neiges, cette surveillance périodique sera effectuée par notre gardien de Matane.

Pour ce qui est de l'ouverture de la vanne, il est essentiel que celle-ci demeure ouverte en tout temps pour éviter d'assécher le ruisseau Renouf et prévenir tout débordement. La vanne sera ouverte en permanence de 15 centimètres, mais cette ouverture pourra être augmentée ou réduite suivant les besoins. La décision de modifier l'ouverture de la vanne devra être prise par l'ingénieur en devoir du ministère de l'Environnement. Cette personne peut être rejointe en tout temps au numéro (418) 644-6772.

Comptant sur votre collaboration, je vous prie de recevoir, Monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Bertrand Bouchard, ing.
Chef de la Division de
la gérance des réservoirs

BB/rd
p.j.

PROVINCE DE QUEBECMINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENTENTENTEENTRE

Le gouvernement du Québec, ici représenté par le sous-ministre, monsieur Pierre B. Meunier, ci-appelé le Ministère de l'Environnement.

PARTIE DE PREMIERE PARTET

La ville des Trois-Pistoles, corporation municipale ayant son siège social dans la ville des Trois-Pistoles, Province de Québec, représentée par son honneur le maire, monsieur Jean-Marc d'Amours, en vertu d'une résolution du conseil municipal de ladite corporation passée le , dont copie certifiée est annexée au présent document.

PARTIE DE SECONDE PART

ATTENDU QUE le Gouvernement du Québec a construit sur une partie des lots 433, 435, 436, 439, 440, 442 et 445 du cadastre officiel de la paroisse de Notre-Dame-des-Neiges des Trois-Pistoles, des ouvrages permettant de dériver une partie du ruisseau Renouf et de protéger ainsi la ville des Trois-Pistoles contre les inondations;

ATTENDU QU'une surveillance périodique des lieux et une possibilité d'intervenir rapidement sont nécessaires pour assurer l'efficacité de ces ouvrages;

ATTENDU QUE le centre de service du ministère de l'Environnement se trouve à plus de 150 kilomètres des Trois-Pistoles;

ATTENDU QUE la ville des Trois-Pistoles est en mesure d'assurer une surveillance adéquate des lieux et d'effectuer en temps opportun les opérations nécessaires;

ATTENDU QUE le ministère de l'Environnement et la ville des Trois-Pistoles désirent conclure une entente;

ATTENDU QU'en vertu de la résolution du 1982, la ville autorise le maire et le secrétaire-trésorier à signer une entente à cette fin.

LES DEUX PARTIES CONVIENNENT CE QUI SUIT:


A) Le ministère de l'Environnement s'engage à:

1. Assurer l'entretien des ouvrages de contrôle et de dérivation, propriété du gouvernement.
2. A défrayer le coût de déneigement du chemin d'accès, des ponceaux et du canal de dérivation au printemps avant la crue.

B) La Ville s'engage à:

1. Faire une vérification hebdomadaire des lieux ou sur demande et aviser les autorités du ministère de toutes anomalies.
2. Assurer une surveillance appropriée lors d'une crue au moment opportun au printemps.
3. Faire effectuer le déneigement par la machinerie préalablement louée par le ministère.
4. Effectuer les opérations requises après avoir eu l'autorisation du ministère.
5. Tenir un registre des opérations effectuées et des lectures prises sur place.

Annexe B.4 Lettre rédigée par le Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (Direction régionale du Bas-St-Laurent) et adressée à la Société immobilière du Québec, 27 septembre 1994.

 <p>Gouvernement du Québec Ministère de l'Environnement et de la Faune Direction régionale du Bas-Saint-Laurent</p>
<p>AUTORISATION DU MINISTRE</p>
<p>Rimouski, le 27 septembre 1994</p>
<p>Société immobilière du Québec Direction de la construction Est 475, rue St-Amable Québec (Québec) G1R 4X9</p>
<p>N° de dossier : 22720825.002</p>
<p>Monsieur,</p> <p>En vertu des pouvoirs qui me sont conférés par la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune, j'autorise la Société immobilière du Québec, représentée par M. Jean-Yves Poliquin, à effectuer ou à faire effectuer pour son compte dans l'habitat du ruisseau Renouf l'activité suivante, à la condition ci-après mentionnée :</p>
<p><u>Endroit de réalisation :</u></p> <p>Ruisseau Renouf, municipalité de Notre-Dame-des-Neiges des Trois-Pistoles, rang 1, lots 343-345-346.</p>
<p><u>Description de l'activité autorisée :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Enlever du lit du cours d'eau les arbres morts et renversés.
<p><u>Condition d'autorisation :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Réaliser les travaux avant le 30 octobre 1994.
<p>La présente autorisation prend effet immédiatement et est valable uniquement pour l'activité autorisée à la condition stipulée.</p>

Annexe B.5 Lettre rédigée par les propriétaires riverains longeant le cours d'eau Bonhomme-Morency et adressée au Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, 26 octobre 1998.

Notre-Dame-des-Neiges, le 26 octobre 1998

M. Pierre Gilbert, directeur
Ministère de l'Environnement et de la Faune
212, rue Belzile
Rimouski (Québec)
G5L 3C3

Re: Ruisseau Renouf / "Bonhomme Morency"
lots 342, 343, 345 et 346
cadastre : Notre-Dame-des-Neiges-des-Trois-Pistoles

Monsieur,

Nous portons à votre attention une situation que nous jugeons intolérable relativement aux problèmes occasionnés par l'érosion du cours d'eau cité plus haut.

Au début des années 1980, des travaux ont été effectués par le Ministère des Travaux publics et de l'approvisionnement sur le territoire de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges afin d'empêcher des inondations de se produire dans le territoire de la Ville de Trois-Pistoles.

Avant l'expropriation et les dits travaux, le petit ruisseau qui traversait nos propriétés avait une largeur moyenne de un mètre et une profondeur d'un demi mètre. Lors de l'expropriation, un droit de passage a été accordé par l'acquéreur à chaque propriétaire donnant accès au terrain de l'autre côté du ruisseau. A cette époque, l'acquéreur n'avait pas avisé les propriétaires que le ruisseau pourrait atteindre de 5 à 12 mètres de largeur par 1 à 3 mètres de profondeur.

Des inconvénients majeurs reliés à l'érosion excessive cause des préjudices (inaccessibilité aux propriétés, pollution de la rivière des Trois-Pistoles) à tous les signataires de la présente.

Si, dans un délai raisonnable, la situation n'est pas corrigée par votre ministère, nous envisageons de réclamer les compensations proportionnelles au préjudice subi. Et nous signons :

Conrad Larrivée
lot 342-pte
Ferme des Falaises enr
67, route 132 Ouest
Notre-Dame-des-Neiges
G0L 4K0
851-2189

Hector Jean
lot 343-pte
Hector Jean
79, route 132 Ouest
Notre-Dame-des-Neiges
G0L 4K0
851-2138

Réjean Rioux
lot 345-pte / 675-pte
Bétons RDI, 1980 inc
95, route 132 Ouest
Notre-Dame-des-Neiges
G0L 4K0
851-2155

Conrad Larrivée
lot 345-pte
Conrad Larrivée
369, rue N-Dame Ouest
Trois-Pistoles
G0L 4K0
851-2971


André Leblond
lot 346-pte
André Leblond
106, route 132 Ouest
Notre-Dame-des-Neiges
G0L 2E0
851-3277

Réjean Rioux
lot 346-pte
Renaud Rioux
82, route du Sault
Notre-Dame-des-Neiges
G0L 2E0
851-4143

Alain Dumont
Société de développement
de la rivière Trois-Pistoles
Alain Dumont, président
17, rue de l'Eglise
Notre-Dame-des-Neiges
G0L 2E0

P.J. résolution d'appui de la municipalité de N-D-des-Neiges

Annexe B.6 Extrait de procès-verbal du conseil de la Corporation municipale de la ville de Trois-Pistoles présentant la résolution numéro 8716, 9 novembre 1998.



**Ville de
Trois-Pistoles**

**PROVINCE DE QUÉBEC
VILLE DE TROIS-PISTOLES**

**EXTRAIT DE PROCÈS-VERBAL
OU
COPIE DE RÉSOLUTION**

**PROVINCE DE QUÉBEC
VILLE DE TROIS-PISTOLES**

Le 9 novembre 1998

À la session régulière du Conseil de la Corporation municipale de la Ville de Trois-Pistoles tenue le 9 novembre 1998 à 20 heures en la salle du Conseil et à laquelle sont présents Madame Ginette St-Amand, mairesse, et les conseillers suivants: Carl Charron, Julien Dionne, Jean-Paul Leclerc, Jean-Pierre Rioux, Andrée Tremblay et Denise Côté Villeneuve formant quorum du Conseil sous la présidence de la mairesse. Un contribuable et aucun journaliste assiste à l'assemblée. Le secrétaire-trésorier et l'assistant sont également présents.

RÉSOLUTION NO. 8716

ATTENDU que le Conseil de Ville de Trois-Pistoles a pris connaissance d'une requête qui sera soumise incessamment au ministère de l'Environnement et de la Faune par six propriétaires de lots et d'un organisme à but non lucratif concernant des dommages causés par l'érosion du cours d'eau d'une partie du ruisseau Renouf;

ATTENDU qu'un réseau d'aqueduc (ligne d'amenée), propriété de la Ville, traverse ce ruisseau;

ATTENDU que l'érosion du ruisseau a eu pour effet que la Ville a dû investir une somme de 15 000 \$ quelques années passées afin de rehausser le tuyau que la rivière avait complètement déterré après avoir abaissé son lit de plusieurs pieds;

ATTENDU que l'érosion a tellement élargi le ruisseau que d'autres travaux sont à prévoir par la Ville d'ici quelques années;

POUR CES MOTIFS,

Il est proposé par la conseillère Andrée Tremblay,


Appuyé par le conseiller Carl Charron,

Et résolu unanimement,

Que: le Conseil de Ville de Trois-Pistoles appuie sans restriction les propriétaires riverains signataires de la demande au M.E.F. dans leurs revendications relatives à l'érosion d'une partie du cours d'eau Renouf, laquelle leur cause préjudice sur les parties de lots 342, 343, 345, 346 et 345 situées sur le territoire de la Paroisse Notre-Dame-des-Neiges des Trois-Pistoles. 615

ADOPTÉE.

VRAIE COPIE CERTIFIÉE,



GABRIEL DESJARDINS, c.m.a.
Secrétaire-trésorier.

5, rue Notre-Dame Est
C.R. 508
Trois-Pistoles (Québec)
G2A 4G7

Tél: (418) 831-1909
Fax: (418) 831-3767

Annexe B.7 Lettre rédigée par la direction régionale du Ministère de l'Environnement du Québec et adressée à la direction de l'hydraulique de ce même ministère, 10 décembre 1999.



Gouvernement du Québec
Ministère de
l'Environnement

NOTE

DESTINATAIRE : Monsieur Yvon Gosselin
Direction de l'hydraulique

DATE : 10 décembre 1999

OBJET : Ruisseau Renouf
Notre-Dame-des-Neiges-des-Trois-Pistoles
7430-01-01-0042900

Le 26 octobre 1998, un groupe de riverains du ruisseau Renouf, dans la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges, appuyé par une résolution de la Ville de Trois-Pistoles et de la paroisse de Notre-Dame-des-Neiges, soumettait à l'attention de notre Ministère la situation de dégradation des berges du ruisseau Renouf jugée inacceptable par ceux-ci.

Deux techniciens de notre direction régionale effectuaient une inspection le 9 décembre 1998 et le rapport d'inspection de même qu'une copie de la demande ont été transmis le 12 février 1999 à M. Roger Poulin, ing. de votre direction par M. Christian Côté, chef du Service de l'environnement.

Le 3 mars 1999, M. Poulin nous informait qu'une inspection serait réalisée et que votre direction nous informerait des mesures que vous entendez prendre pour régler les problèmes d'érosion.

Vous trouverez avec la présente une copie de deux résolutions de la Ville de Trois-Pistoles et de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges qui désirent obtenir une copie de l'analyse du dossier effectuée par votre direction.

Après plus d'un an, vous comprendrez que ces citoyens sont justifiés d'exiger de notre Ministère une position dans ce dossier.

Direction régionale de Bas-Saint-Laurent
212, avenue Beville
Rimouski (Québec) J1S 3C3



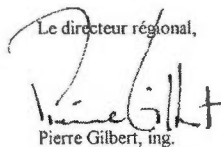
Ce papier contient un minimum de 20 % de fibres recyclées de postconsommation.

Téléphone : (418) 727-3511
Télécopieur : (418) 727-3849

2

Pour de plus amples informations, vous pourrez communiquer avec M. Alain Beaulieu de notre Direction régionale au (418) 727-3511, poste 252.

Le directeur régional,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pierre Gilbert', written over the printed name.

Pierre Gilbert, ing.

PG/AB/mad

c.c. Ville de Trois-Pistoles
Municipalité de Notre-Dame-des-Neiges

Annexe B.8 Lettre rédigée par le Ministère de l'Environnement du Québec et adressée à la secrétaire-trésorière de la Municipalité de Notre-Dame-des-Neigess, 24 août 2000.

Québec 
Ministère
de l'Environnement

Le 24 août 2000

Madame Danielle Ouellette
Secrétaire-trésorière
Municipalité de Notre-Dame-des-Neiges
4, rang 2 Centre
Trois-Pistoles (Québec) G0L 4K0

Objet : Ruisseaux Sans Nom et Renouf

Madame,

Pour faire suite à votre résolution municipale du 13 octobre 1998 appuyant les revendications des propriétaires riverains du ruisseau Sans Nom qui reçoit une partie des eaux du ruisseau Renouf en temps de crue, nous vous transmettons les informations suivantes.

Les propriétaires riverains se plaignent de l'érosion excessive du ruisseau Sans Nom et du fait qu'ils n'ont plus accès à leur propriété située de part et d'autre de ce cours d'eau. À ce sujet, le ministère de l'Environnement effectuera cet automne des travaux qui consisteront à replacer le lit du ruisseau Sans Nom dans son lit original sur une longueur à définir et ce, immédiatement en amont du pont de la route qui longe la rivière des Trois Pistoles et à protéger ses berges pour éviter un nouveau dérèglement hydraulique. Également, nous comptons fournir un accès aux deux rives du ruisseau en construisant un pont dans le secteur de la conduite d'eau potable de la ville de Trois-Pistoles.

25^e Charte des
droits et libertés
de la personne
du Québec

...2

Direction de l'hydraulique et de l'hydrique
Service gestion et protection des systèmes hydriques
Édifice Marie-Guyart
615, boulevard René-Lévesque Est
Aile René-Lévesque, 2^e étage, boîte 28
Québec (Québec) G1R 5V7

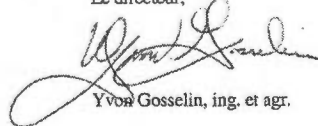
Téléphone : (418) 521-3825 (7101)
Télécopieur : (418) 643-6900
Internet : <http://www.mmrn.gouv.qc.ca>
Courriel : gonnell.jvca@mmrn.gouv.qc.ca

2

Suite à ces travaux, le ministère de l'Environnement entend revoir, avec les municipalités concernées par le dossier, toute la problématique des ruisseaux Renouf et Sans Nom afin de trouver une solution durable.

Veuillez agréer, Madame, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le directeur,



Yvon Gosselin, ing. et agr.

YG/RP/sl

c.c. : MM. Jean-Marie Boucher, chef du Service de la surveillance et de l'entretien des barrages
Henriot Giguère, Service de la surveillance et de l'entretien des barrages
Pierre Gilbert, directeur régional du Bas-Saint-Laurent

Annexe B.9 Extrait du livre des délibérations d'une assemblée régulière du conseil municipal de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges présentant la résolution numéro 07.2004.92, 7 juillet 2004.

4, rang 2 Centre
Trois-Pistoles (Québec) G0L 4K0

Le 7 juillet 2004

EXTRAIT DU LIVRE DES DÉLIBÉRATIONS d'une assemblée régulière du conseil municipal de la Municipalité de Notre-Dame-des-Neiges, M.R.C. des Basques, tenue le 5 juillet 2004, à 19h30 heures, à l'endroit ordinaire des réunions du conseil, à laquelle assemblée étaient présents:

Son Honneur le maire : M. Gérard Beaulieu

Les membres du conseil : M.Hector Jean, M.Marc-André Rioux, M.Philippe Leclerc, M.Yvon Leclerc et M.Gilles Pigeon

Formant quorum.

RESOLUTION NUMÉRO 07.2004.92

RÉPARATION DU PONCEAU / ROUTE DU SAULT

Attendu qu'un affaissement du ponceau de la route du Sault vis-à-vis le cours d'eau Renouf est constaté par la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges;

Attendu que cet affaissement pourrait causer un danger au niveau de la sécurité routière;

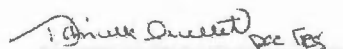
Attendu que le Ministère de l'Environnement, Direction de l'hydraulique et de l'hydrique de Québec a été avisé de cette problématique;

Attendu que ledit ministère avait exécuté lors du détournement du cours d'eau Renouf les changements nécessaires au ponceau de la route pour l'écoulement de l'eau à cet endroit;

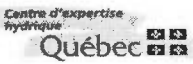
Attendu que l'érosion continu du cours d'eau Renouf en amont a causé d'année en année détérioration prématurée du ponceau;

Pour ces motifs, il est proposé par le conseiller Gilles Pigeon et résolu à l'unanimité par les conseillers présents que la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges demande au Ministère de l'Environnement qu'une inspection des lieux soit effectuée et qu'une rencontre ait lieu avec les responsables du ministère et la municipalité dans le plus bref délai.


Copie certifiée conforme


Danielle Ouellet, secrétaire-trésorière

Annexe B.10 Lettre rédigée par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec et adressée au préfet de la MRC des Basques, 28 septembre 2005.



**Centre d'expertise
hydrique
Québec**



Bureau du directeur général

Le 28 septembre 2005

Monsieur. André Leblond
Préfet de la MRC des Basques
400-2, rue Jean-Rioux
Trois-Pistoles (Québec) G0L 4K0

Objet : Cours d'eau Bonhomme Morency

Monsieur,

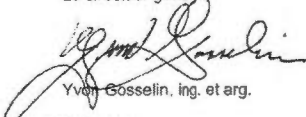
J'ai pris connaissance avec intérêt de la correspondance que M. François Gosselin, secrétaire-trésorier de la MRC des Basques, m'a fait parvenir au sujet de la résolution de la MRC des Basques concernant le cours d'eau Bonhomme Morency. Je comprends, à la lecture de cette résolution, que la MRC privilégie la réalisation de travaux de consolidation des berges et du lit du cours d'eau Bonhomme Morency comme solution aux problèmes d'érosion observés le long de ce cours d'eau.

Nous souhaitons discuter avec vous, ainsi qu'avec les maires des municipalités de Trois-Pistoles et de Notre-Dame-des-Neiges, MM Jean-Pierre Rioux et Gérard Beaulieu, de l'ensemble de ce dossier afin de convenir de la mise en œuvre d'une solution durable aux problèmes d'érosion observés le long du cours d'eau Bonhomme Morency qui réponde aux besoins exprimés par les autorités locales et régionale, tout en s'inscrivant dans nos orientations.

Dans ce contexte, j'ai demandé à M. Serge Goulet, directeur de la Direction de la surveillance et de l'entretien des barrages publics et du réseau hydrométrique de vous rencontrer, avec les maires des deux municipalités concernées. Je vous invite donc à communiquer avec lui au numéro (418) 521-3915, poste 7119 ou par courrier électronique à l'adresse suivante (serge.goulet@mdepp.gouv.qc.ca).

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le directeur général



Yvon Gosselin, ing. et arg.

YG/SG/d

c. c. : MM. Gérard Beaulieu, maire de Notre-Dame-des-Neiges
Serge Goulet, directeur de la surveillance et de l'entretien des barrages publics et du réseau hydrométrique du CEHQ
Jean-Pierre Rioux, maire de Trois-Pistoles

Ministère du Développement durable,
de l'Environnement et des Parcs
Centre d'expertise hydrique du Québec

675, boulevard René-Lévesque Est
Aile René-Lévesque, 2^e étage, case 28
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : (418) 521-3866, poste 7101
Télécopieur : (418) 643-6900
Courriel : yvon.gosselin@mdepp.gouv.qc.ca
Internet : www.cehq.gouv.qc.ca

Annexe B.11 Lettre rédigée par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec et adressée au préfet de la MRC des Basques, 25 janvier 2008.

André LeBlond

Centre d'expertise hydrique Québec
Direction de la maintenance des barrages

REÇU
25 JAN. 2008
Par *ds*

Le 25 janvier 2008

Monsieur André Leblond
Préfet de la MRC des Basques
400-2, rue Jean-Rioux
Trois-Pistoles (Québec) G0L 4K0

Objet : Cours d'eau Bonhomme Morency

Monsieur le préfet,

Tel que convenu, je vous informe de l'état d'avancement des actions que le Centre d'expertise hydrique du Québec a mis en œuvre en vue d'effectuer les travaux de stabilisation du lit et des berges du cours d'eau du Bonhomme-Morency, localisé sur le territoire de la municipalité de Notre-Dame-des-Neiges.

Au cours de l'été 2007, le Centre d'expertise hydrique du Québec a mandaté les services professionnels en mouvement de sol du ministère des Transports pour la réalisation d'une expertise géotechnique du secteur et pour l'identification des mesures à mettre en place pour stabiliser les sols dans le secteur du cours d'eau du Bonhomme-Morency. À cette fin, divers travaux de terrain, ainsi que des relevés, ont été réalisés aux cours de l'automne 2007 et le ministère des Transports est présentement à compléter les études qui seront disponibles à la fin du mois de février 2008. Sur la base des diagnostics énoncés et des mesures qui y seront proposées, le Centre d'expertise hydrique du Québec préparera, dans les prochains mois, les plans et les devis qui permettront la mise en œuvre de travaux de stabilisation recommandés. Sous réserve de l'obtention des diverses autorisations, le Centre d'expertise hydrique du Québec devrait donc être en mesure de réaliser les travaux de stabilisation requis à l'été 2008.

Recevez, Monsieur le préfet, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le directeur,
Serge Goulet
Serge Goulet, ing.

SG/ld

c.c. : MM. Gérard Beaulieu, maire de Notre-Dame-des-Neiges ✓
Yvon Gosselin, directeur général, CEHQ

Ministère du Développement durable,
de l'Environnement et des Forêts

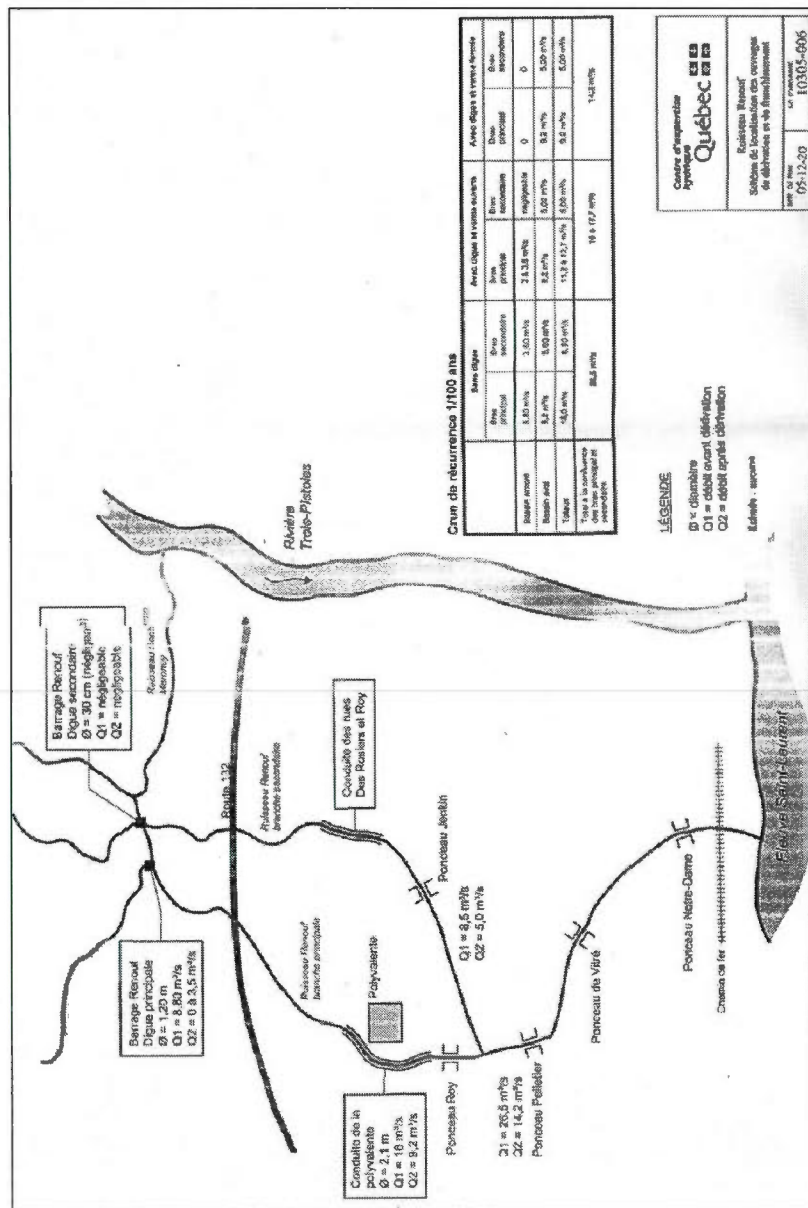
675, boulevard René-Lévesque Est
Aile René-Lévesque, 1^{er} étage, case 28
Québec (Québec) G1R 5V2
Téléphone : (514) 521-5918, poste 7119
Télécopieur : (514) 521-1685
Courriel : serge.goulet@meddp.gouv.qc.ca
Internet : www.ahha.ahha.org.qc.ca

Le papier contient 25% de fibres recyclées après consommation.

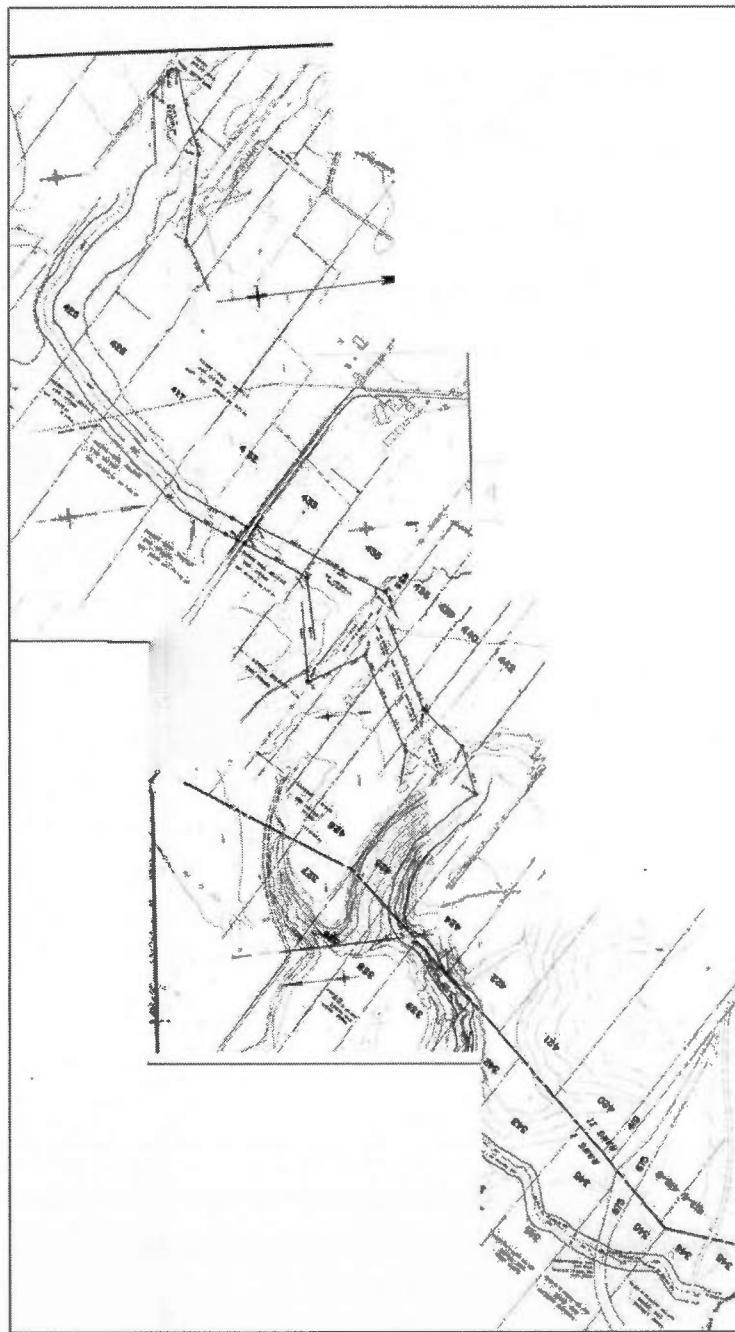
ANNEXE C

PLANS D'AMÉNAGEMENT DES OUVRAGES DE DÉRIVATION DU COURS D'EAU
RENOUF ET D'EXPROPRIATION LE LONG DU COURS D'EAU BONHOMME-
MORENCY

Annexe C.2 Schéma de localisation des ouvrages de dérivation et de franchissement ayant eu lieu dans le cours d'eau Renouf en 1977, conçu par le CEHQ (2005).



Annexe C.3 Plan de terres expropriées le long du cours d'eau Bonhomme-Morency (source : archives de la Ville de Trois-Pistoles).



ANNEXE D

PHOTO DU GLISSEMENT DE TERRAIN DE 1983 PUBLIÉE DANS LE JOURNAL
RÉGIONAL *LE COURRIER* APRÈS LE GLISSEMENT DE TERRAIN DANS LA
RIVIÈRE TROIS-PISTOLES (SOURCE : ARCHIVES DE LA MUNICIPALITÉ DE
NOTRE-DAME-DES-NEIGES).

D'Auteuil Ltd.
 André Duteil, propriétaire
 444 rue Jenkins, Trois-Pistoles
 Tél. 251-3474



Espace d'accueil
 • Caves, restos, pique-nique
 • Cadences
 • Cartes de souhaits
 • Loto-Québec

Le COURRIER

de Trois-Pistoles

HEBDOMADAIRE
 D'INFORMATION REGIONALE

22ième année NO 60 Trois-Pistoles mercredi le 20 avril 1983

La rivière Trois-Pistoles:

La crue des eaux fait des ravages

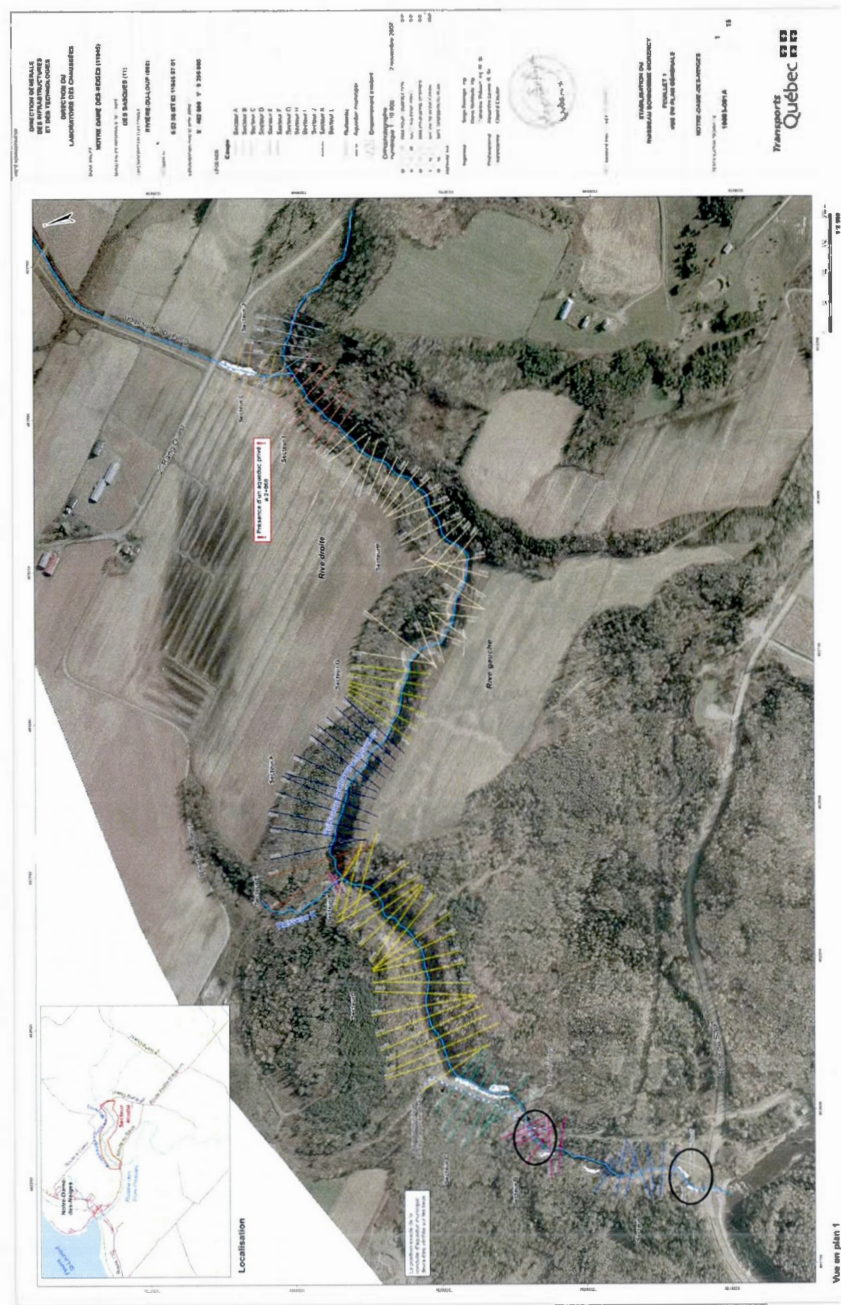


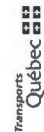
Là où s'est produit le glissement de terrain, le cours habituel de la rivière a été obstrué, obligeant l'eau et les glaces à se frayer un passage sur les terres de M. Marc-André Rioux.

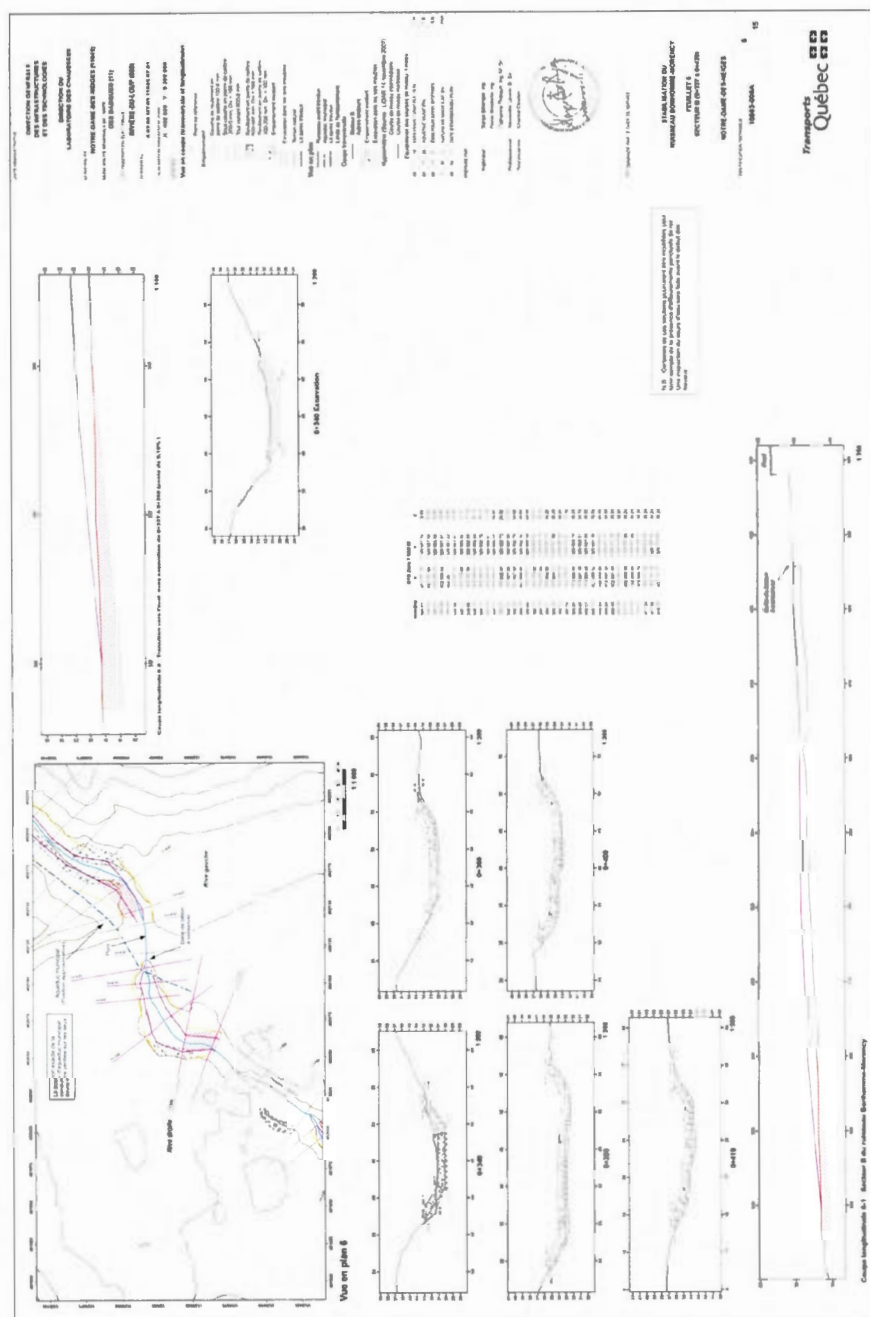
ANNEXE E

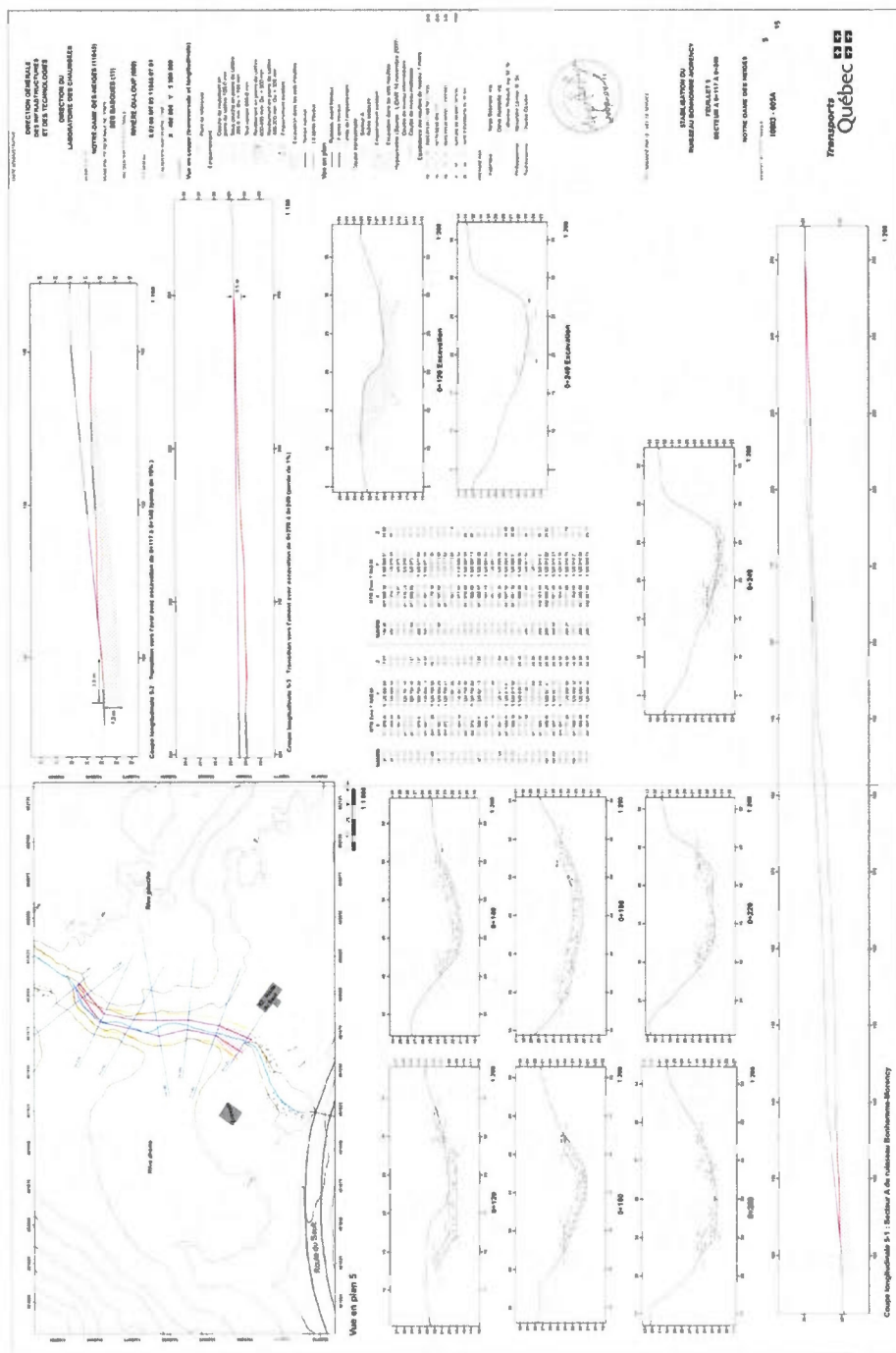
PLANS D'AMÉNAGEMENT DU TRONÇON BONHOMME-MORENCY PAR
BÉLANGER *ET AL.* (2007)

Annexe E.1 Vue en plan des sections transversales et des douze secteurs étudiés dans le cours d'eau Bonhomme-Morency (Bélanger *et al.* 2007). Les encadrés noirs indiquent les secteurs où il n'y a pas eu d'enrochement. Le cercle au bas positionne l'enrochement fait en 2004 et celui plus haut, situé un affleurement rocheux où aucune instabilité du lit n'est produite.









Annexe E.3 Vues en coupe des sections transversales types montrant l'épaisseur des différentes couches d'enrochement (Bélanger *et al.* 2007).

